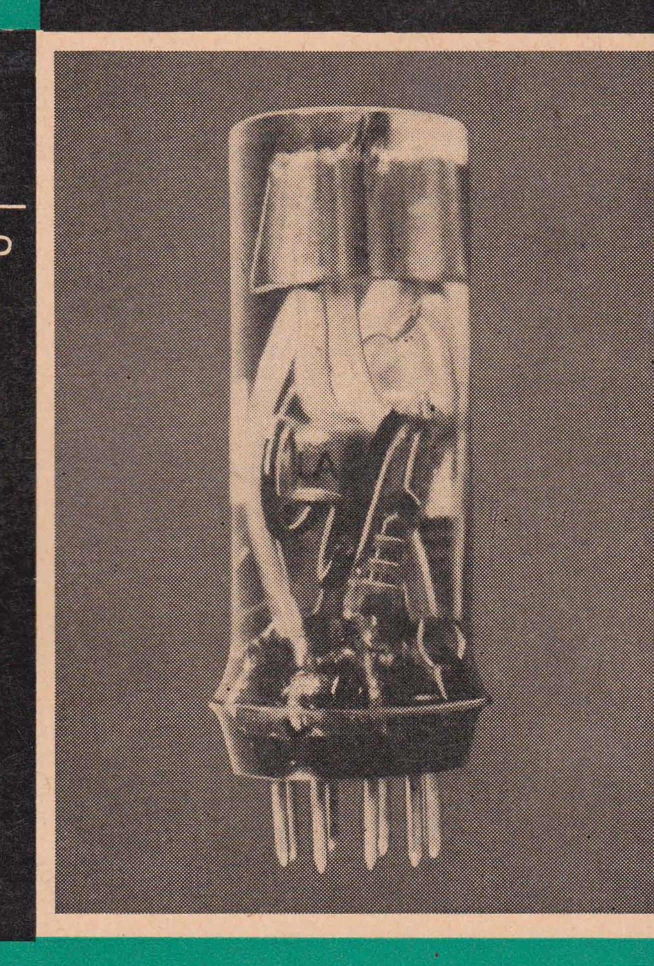
59

DER PRAKTISCHE FUNKAMATEUR



Hagen Jakubaschk

Gießharztechnik in der Amateurpraxis

Der praktische Funkamateur · Band 59

Gießharztechnik in der Amateurpraxis

HAGEN JAKUBASCHK

Gießharztechnik

Kalthärtende Kunstharze und Plaste
in der Amateurpraxis



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG

Redaktionsschluß: 20. Oktober 1965

Inhalt

Vorwort

Kennzeichnend für die moderne Amateurpraxis ist nicht nur ihre Ausdehnung auf immer neue Fachgebiete, sondern zugleich auch auf neue Arbeitsverfahren, Technologien und Hilfsmittel. Bausteintechnik und gedruckte Schaltung sind heute für den Amateur schon beinahe selbstverständliche Begriffe. Dagegen hat sich die Anwendung von kalthärtenden Gieß- und Klebharzen sowie von Plasten (also solcher Stoffe, die im Ausgangszustand flüssig oder formbar sind) beim Amateur bisher nur zögernd eingebürgert – wohl deshalb, weil ihre Vorteile für seinen Arbeitsbereich noch wenig bekannt sind. Die bisher vielfach vertretene Auffassung, Gieß- und Klebharztechnik sei nur für die Industrie interessant, ist bereits überholt: Diese Materialien werden sehr bald schon ebenso zum selbstverständlichen Rüstzeug des Amateurs gehören wie etwa die selbstgefertigte gedruckte Schaltung und die Materialien dafür.
Zur Zeit findet sich in der deutschsprachigen Fachliteratur noch kaum eine amateurgerechte Anweisung für die Verwendung von Gieß- und Klebharzen; darin liegt auch der Grund für das Fehlen eines ausführlichen Literaturverzeichnisses in der vorliegenden Broschüre. Ziel dieses Heftes ist, dem Amateur einen Überblick über die vielseitigen Möglichkeiten zu geben, die sich mit den zur Zeit in der DDR gefertigten Harz- und Plasttypen realisieren lassen. Im Hinblick auf die beim Funkamateur gegebenen Voraussetzungen beschränkt sich dieses Heft auf die für ihn wesentlichsten Stoffe, d. h. auf zwei Gießharztypen und einen Thioplast. Diese Stoffe sind im Lieferzustand leicht formbar und erhalten erst durch bestimmte Zusätze infolge chemischer Reaktionen ihre endgültige Zustandsform. Die dem Amateur als Werkstoffe bereits vertrauten festen Plaste und Kunststoffe wie PVC und Polystyrol gehören also nicht zum Thema.

Chemische Grundlagen und Zusammenhänge werden ebenfalls nicht behandelt; sie sind sehr kompliziert und für den branchenfremden Funkamateur kaum verständlich darzulegen. Auch ist ihre Kenntnis für die Anwendung der Gießharze nicht erforderlich.
Alle gegebenen Anweisungen, Rezepturen, Anwendungshinweise usw. stützen sich auf die einschlägigen Herstellervorschriften und auf Versuchsarbeiten des Verfassers. Dadurch ist garantiert, daß die gegebenen Vorschriften nicht nur erprobt, sondern den Möglichkeiten und speziellen Interessen des Funk- und Elektronikamateurs angepaßt sind. Der Umgang mit Gieß- und Klebharzen wird dem Amateur anfänglich etwas ungewohnt sein, immerhin handelt es sich dabei nicht um vertraute Arbeitsgänge auf mechanischer oder elektrotechnischer Grundlage, sondern um solche aus dem Bereich der Chemie. Mit herkömmlichen Lacken, Klebstoffen oder Lösungsmitteln (die sämtlich den Gießharzen nicht gleichzusetzen sind!) gewonnene Erfahrungen nützen also wenig. Deshalb soll besonders davor gewarnt werden, eigene Mischungsversuche oder Änderungen der Rezeptur vorzunehmen, bevor man nicht ausreichend praktische Erfahrung mit diesen Stoffen gesammelt hat. Immerhin können bei falscher Handhabung nicht nur Fehlschläge, sondern auch unangenehme, für den Funkamateur kaum im voraus abschätzbare chemische Reaktionsverläufe zustande kommen.
Die Gießharztechnik ist insgesamt noch relativ jung, die Entwicklung neuer Harze und Plaste längst nicht abgeschlossen. Bisher vorliegende Erfahrungen stammen meistens aus der Industrie und sind daher für den Amateur nur sehr bedingt von Nutzen. Das ist zwar für den ernsthaften Amateur eher Ansporn als Hinderungsgrund – welcher Amateur sieht seine Aufgabe nicht auch darin, zur Anwendung und Verbreitung modernster Techniken beizutragen? –, aber es hat zwei Konsequenzen:
Erstens kann das vorliegende Heft zwar den derzeitigen Stand der Gießharzanwendung auf dem Amateursektor skizzieren, aber weder einen vollständigen Überblick über

alle – heute längst nicht restlos erkannten – Anwendungsmöglichkeiten geben, noch die Gießharztechnik selbst vollständig umreißen. Zweitens ist die Materialfrage in diesem Zusammenhang zu sehen. Zur Zeit werden die Gieß- und Klebharze bzw. die Thioplaste vorwiegend noch industriell verarbeitet. Man kann daher nicht erwarten, daß dieses Material heute schon zum selbstverständlichen Sortiment eines jeden kleinen Einzelhandelsfachgeschäftes gehört, wie etwa ein Widerstand oder ein Kondensator.

Am Schluß der Broschüre sind die Hersteller der beschriebenen Materialien sowie die wichtigsten dafür zuständigen Großhandelsorgane und Lieferfirmen genannt (entsprechend dem Stand bei Redaktionsschluß). Sie werden dem Interessenten jederzeit Auskunft über Preise und Bezugswege geben. Wie bei jeder neuen Technik aber steht am Anfang ihre allgemeine Einführung. Daraus resultiert die Nachfrage nach dem Material. Und erst dies kann dann zum zweiten Schritt, zu der Aufnahme der neuen Materialien in das Standardsortiment des einschlägigen Facheinzelhandels führen. Ebenso wie die früheren „Raritäten" Transistor, Ferritstab und kupferkaschiertes Halbzeug für gedruckte Schaltungen heute längst im Einzelhandel geläufig sind, werden es bald auch die Gießharze sein. Möge die vorliegende Broschüre in diesem Sinne zur Einführung neuer Technik auf dem Amateursektor beitragen.

Brandenburg, im Juli 1965 *Hagen Jakubaschk*

1. Was sind Gießharze?

Unter dem Begriff *Gießharze* sind im Rahmen dieser Broschüre solche Stoffe zu verstehen, die im Lieferzustand flüssig, d. h. gießbar sind. Durch Zufügen bestimmter Substanzen kommen sie nach einiger Zeit zur Aushärtung, kurz „Härtung", d. h., sie erstarren zu einer formfesten, je nach Zusammensetzung spröden oder hartelastischen bis weichplastischen Masse. Im Unterschied zu Lacken, Klebstoffen auf Azetatbasis (Duosan) u. ä. handelt es sich also nicht um eine von Haus aus harte, in Lösemitteln gelöste und nach deren Verdunstung wieder feste Masse. (Gießharze sind lösungsmittelfrei! Deshalb lassen sie sich im allgemeinen auch nicht wieder ohne weiteres auflösen.) Hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung unterscheidet man heute bereits eine sehr große Anzahl von Gießharzen. Im Rahmen dieser Broschüre wollen wir daher auch nicht den Versuch einer Abgrenzung zwischen den Begriffen Kunstharz und Plast unternehmen. Ein dem Funkamateur geläufiger Vertreter eines Gießharzes (nicht Plastes im engeren Sinne!) ist z. B. das für den Verguß der bekannten Duroplastkondensatoren benutzte Gießharz *Duroplast.* Auch soll nicht streng zwischen Gieß- und Klebharzen unterschieden werden – die meisten Gießharze lassen sich ebenfalls als Klebharze anwenden und umgekehrt.

Der Chemiker unterscheidet zwischen der Gruppe der *Epoxydharze* und der *Polyesterharze.* Wir werden aus jeder Gruppe einen Vertreter kennenlernen (*Epilox EGK 19,* ein gesättigtes Epoxydharz, *Polyester G,* ein ungesättigtes Polyesterharz), dazu noch einen Weichplast *(Dolacol).* Den Amateur dürften diese drei Gruppen wegen ihrer verschiedenen Eigenschaften im gehärteten Zustand interessieren. Alle drei Kunststoffe sind sogenannte kalthärtende Kunststoffe nach dem Mehrkomponentensystem. Für den Aushärtungsvorgang ist also keine Wärmeeinwirkung erfor-

derlich, im Unterschied zu den hier nicht interessierenden heißhärtenden Kunststoffen. Dem eigentlichen, zunächst flüssigen Gießharz fügt man eine „Komponente" oder z. T. mehrere – bestimmte Chemikalien – zu, worauf die chemische Reaktion des Härtungsvorgangs beginnt. Da dieser einige Zeit beansprucht, kann das mit den Komponenten versehene („angesetzte") Harz währenddessen verarbeitet werden. Die fertig ausgehärteten Harze haben im allgemeinen vorzügliche mechanische und elektrische Eigenschaften, wie später noch gezeigt wird. Zu den mechanischen Eigenschaften gehört z. B. die teils vorzügliche Haftfähigkeit auf anderen Stoffen, insbesondere auf Metallen. So wird z. B. die Karosserie des Kleinwagens *Trabant* mittels Epoxydharz Epilox mit Metallteilen verklebt.

Der Vorgang der Härtung im Harz ist relativ kompliziert. Wie alle organischen Kunststoffe haben auch diese Stoffe relativ große Moleküle. Unter bestimmten Umständen kann es nun zu Anlagerung dieser Moleküle aneinander und Bildung sehr großer Molekülketten kommen. Zwischen diesen Molekülketten können chemische „Querverbindungen" zustande kommen, so daß sich das ganze Stoffgefüge gewissermaßen vermascht bzw. mit mehr oder weniger regelmäßiger Struktur „verfilzt". Stark vereinfacht kann man sich ein solches Gefüge mit gitter- oder netzartiger Struktur vorstellen. Man bezeichnet diesen Vorgang der Bildung von Molekülketten aus gleichartigen großen Einzelmolekülen (den der Chemiker als Polymerisation bezeichnet) deshalb auch als Vernetzung.

Das Gießharz besteht im flüssigen Zustand aus Einzelmolekülen bzw. kleineren Molekülgruppen, die zunächst nicht vernetzt sind. Das Harz ist daher „in sich leicht beweglich", flüssig bis zähflüssig. Durch Zugabe einer bestimmten Komponentensubstanz (als Härter bezeichnet) wird die Vernetzung ausgelöst. Das kann entweder katalytisch geschehen – der Härter wirkt dann als Katalysator und bleibt innerhalb des Harzes selbst unverändert, greift also nicht in die chemischen Vorgänge ein, sondern löst sie durch seine Gegenwart nur aus – oder durch unmittelbare Teil-

a) Epoxydharz

b) Diamin $R(NH_2)_2$ (Härter)

c) Polyaddition (vernetzte Endgruppen)

Bild 1 Zum Vernetzungsvorgang bei Kunstharzen
a – Strukturformel des Epoxydharzes Epilox, b – Strukturformel des Härters, c – Vernetzung der Harz-Endgruppen

nahme des Härters (chemische Reaktion mit dem Harzmolekül). Zur Beschleunigung der Polymerisation und zur Aktivierung des Härters muß bei manchen Harzen noch ein zweiter Komponentenstoff (der Beschleuniger) zugefügt werden.

Näher auf die chemischen Zusammenhänge einzugehen, ist hier nicht möglich. Um den an der Chemie interessierten Lesern eine Vorstellung von dem Vorgang der Polymerisation zu geben, zeigt Bild 1 bei a die Strukturformel des Epoxydharzes Epilox in vereinfachter Darstellung. Das Epilox-Molekül ist außer durch die zwei vereinfacht dargestellten Benzolringe durch die beiden endständigen, reaktionsfähigen Epoxydgruppen $CH\text{-}O\text{-}OH_2$ (beiderseits der punktierten Linien gekennzeichnet. Als Härter wird in diesem Fall ein Diamin $R\,(NH_2)_2$ benutzt (Strukturformel Bild 1b). Wird ein solcher Härter dem Harz beigesetzt, so tritt dessen Molekül zwischen je zwei Harz-Endgruppen, wie Bild 1c auszugsweise andeutet. Die Radialgruppe R des Härters (die ihrerseits wieder eine bestimmte Struktur aufweist; hier durch den Buchstaben R angedeutet) ist nun das Bindeglied zwischen je zwei Harzmolekülen, an deren Enden weitere Härtermoleküle wiederum die Verbindung zu den benachbarten Harzmolekülen darstellen usw. – In dieser ver-

einfachten Form kommt es zur Bildung sehr langer Kettenmoleküle, deren Struktur die endgültige Beschaffenheit des ausgehärteten Harzes bestimmt. Diese Härtungsreaktion läßt sich nicht umkehren, d. h., man kann das Harz nicht wieder in seinen unvernetzten (flüssigen) Zustand zurückversetzen. Lediglich Auflösung mit bestimmten Lösungsmitteln oder aber chemische Zerstörung (Zersetzung) des Harzes ist möglich, jedoch für den Amateur kaum von praktischer Bedeutung, da die im Harz eingebetteten Bauteile oder anderen Materialien fast immer mit angegriffen werden.

2. Was kann der Amateur mit Gießharzen beginnen?

Die Anwendungsmöglichkeiten der Harze richten sich nach den Gießvorgängen (Formguß, Einguß und Verguß von Bauelementen, Baugruppen, Dichtungsfugen usw.), Klebvorgängen (Verbindung von Materialien untereinander) und Laminierungen. Laminate sind Schichtstoffe, die durch Gieß- oder Klebharz versteift sind, z. B. Glasfaser- oder Gewebelaminate. Sie lassen sich vor allem als sehr widerstandsfähige, leichte und zum Teil unbrennbare Baustoffe verwenden (Glasfaserlaminat z. B. im Bootskörperbau, in der Flugzeugindustrie). Gießharze können z. T. mit Füllmitteln gefüllt bzw. gestreckt werden (Quarzmehl, Kalkmehl, Sägemehl, Metallstaub u. ä.) und ergeben dann streich- oder spachtelfähige Massen, die nach Aushärtung bestimmte mechanische Eigenschaften aufweisen. Näheres sagt ein späterer Abschnitt, jedoch soll bereits an dieser Stelle vor dem Ausprobieren eigener Füllmittel gewarnt werden, da hierbei stets die Gefahr unerwünschter, unter Umständen heftiger Reaktionen mit dem Harz oder seinen (chemisch meist recht aggressiven) Komponenten besteht. Man halte sich daher stets an die in Herstellervorschriften oder verläßlichen Fachveröffentlichungen angegebenen Rezepturen.

Für den Funkamateur hat Gießharz außer für Abdichtungen und für Verschlüsse vor allem für den Ein- und Verguß von Bauelementen und kompletten Baugruppen Bedeutung, die damit sehr weitgehend stoß- und witterungsfest werden.

Ferner kommen Gieß- und Klebharze für Ummantelungen, Korrosionsschutzüberzüge und – als Klebharze – für sehr stabile mechanische Befestigungen in Betracht. In Form von Laminaten können sie für Versteifungen dienen (Anwendungsbeispiele folgen). Gefüllte Gießharze eröffnen dem einfallsreichen Amateur als Baustoff ganz neue Möglichkeiten.

3. Für den Amateur geeignete Harz- und Plasttypen aus der DDR-Fertigung und ihre Eigenschaften im Lieferzustand

3.1. Das Gießharz Polyester G Schkopau

Polyester G Schkopau – im folgenden kurz Polyester G genannt – ist im Lieferzustand ein zäh- bis dünnflüssiges Produkt mit typisch süßlich-unangenehmem Geruch und von klarer hellgelber Färbung. An kühlem Ort (10 bis 15 °C) und unter Luftabschluß bleibtes erfahrungsgemäß länger als 1 Jahr lagerfähig (Herstellerlagergarantie: mindestens 3 Monate). Es ist im flüssigen Zustand feuergefährlich (Gefahrenklasse A II), seine Dämpfe sind in größeren Mengen gesundheitsschädlich, wenn auch nicht ausgesprochen giftig (Gefährdungsgruppe III). Während der Lagerung muß das Einwirken von Sonnenlicht vermieden werden. Die Aufbewahrung kann in Glasstöpselflaschen erfolgen, wobei jedoch auf sauberen Flaschenhals zu achten ist, da sich verklebte Flaschenhälse nach einiger Zeit nur sehr schwer öffnen lassen. Günstiger sind Gläser mit Hartplast-(Bakelit-)Schraubverschluß und Pappdichtungseinlage. (Beim Umgang mit dem Harz und seinen Komponenten Hinweise in Abschnitt 5.1. beachten!)
Die Komponenten zu diesem Harz sind ein Härter und ein Beschleuniger. Als Härter benutzt man Cyclohexanonperoxid-Paste (50 Prozent in Styrol); als Beschleuniger wird ein spezieller Kobalt-Beschleuniger geliefert. Die Härterpaste hat ein weißlich-kristallines Aussehen und muß bei Lagerung stets mit klarem Styrol-Lösungsmittel (dünne Schicht) bedeckt sein (vor Gebrauch ist umzurühren). Wie alle Peroxide neigt auch das Cyclohexanonperoxid im trokkenen Zustand zu explosiver Zersetzung, weshalb ein Eintrocknen unbedingt vermieden werden muß (Flaschenhals unbedingt sauberhalten!). Als Aufbewahrungsgefäß empfiehlt sich eine weithalsige Glasstöpselflasche.
Der Kobalt-Beschleuniger, eine dünnflüssige dunkelviolette

Lösung (ähnlich Kaliumpermanganat- oder Tintenstiftlösung), ist brennbar und giftig, daher ähnlich vorsichtig zu handhaben und gut unter Verschluß zu halten wie die Härterpaste. Näheres zum Umgang mit diesen Stoffen sagt Abschnitt 5.2. Insbesondere Härterpaste und Beschleuniger wirken ätzend auf die Haut; beide dürfen auch nicht unmittelbar miteinander und mit anderen leicht entflammbaren Stoffen zusammengebracht werden (Vorsicht bei Öl und ölhaltigen Gegenständen!), da sie unter Umständen mit Selbstentzündung oder explosiver Zersetzung reagieren können. Als Aufbewahrungsgefäß kommt für beide Komponenten nur ein Glasgefäß in Betracht. Das flüssige Polyesterharz kann vorübergehend auch in Aluminium- oder PVC-Behältern gelagert werden. Das Harz ist im ungehärteten Zustand zähklebrig und in Wasser nicht löslich! Alle Materialien müssen so gelagert werden, wie es für feuergefährliche Stoffe vorgeschrieben ist (beim Amateur z. B. verschließbares Regal im Keller). Der Amateur sollte nie mehr Harz lagern, als er innerhalb einiger Monate benötigt, und von den Komponenten ebenfalls nicht mehr vorrätig halten, als gemäß Rezeptur für diese Harzmenge erforderlich ist. Im übrigen muß er mit diesen Stoffen stets ebenso vorsichtig umgehen wie mit Benzin und Akkusäure.

3.2. Das Gieß- und Klebharz Epilox EGK 19

Epilox EGK 19 ist ein gesättigtes, bei Raumtemperatur dünn- bis mäßig zähflüssiges Epoxydharz. Im Gegensatz zum Polyester G, das eine etwa bienenhonigartige Beschaffenheit hat, ähnelt EGK 19 im Aussehen etwa dem Zuckerrübensirup. Es ist bernsteingelb bis braunrot und behält diese Farbe – im Gegensatz zum Polyester G, das nach Aushärtung fast gänzlich farblos-glasklar wird – auch nach Aushärtung bei. Es ist ebenfalls klar durchsichtig und in Wasser unlöslich. Bei kühler Lagerung unter Feuchtigkeits- und weitgehendem Luftabschluß (Lagergefäße: verzinkte Kanister oder Glasflaschen) hält es sich mindestens

ein Jahr. Es ist etwas weniger giftig und nicht so leicht brennbar wie Polyester G (Gefahrenklasse A III), muß aber trotzdem als feuergefährlich angesehen und ähnlich dem unter 3.1. Gesagten gehandhabt werden. Berühren des Harzes oder seines Härters mit ungeschützten Händen kann Hautentzündungen hervorrufen (vgl. 5.1.).
Als Härter für EGK 19 kommt der von demselben Hersteller dazu gefertigte *Härter Nr. 3* in Betracht. Er ist von wasserklarer, dünnflüssiger, leicht öliger Beschaffenheit und hat einen ammoniakähnlichen stechenden Geruch (Einatmen der vom Härter reichlich abgegebenen Dämpfe unbedingt vermeiden! Glasstöpselflasche mit zuverlässig dichtem Verschluß benutzen!). Dieser flüssige Härter ist ebenfalls brennbar und hat ätzende Eigenschaft, kann jedoch leichter dosiert werden als die Polyester-G-Härter*paste,* was die Verarbeitung dieses Harzes etwas vereinfacht. Einen Beschleuniger benötigt EGK 19 nicht. Im Gegensatz zum Polyester G ist also außer dem Harz nur eine Komponente erforderlich.

3.3. Der Thioplast Dolacol

3.3.1. Dolacol K schwarz

Bei *Dolacol K schwarz* handelt es sich um einen kalthärtenden, rußgefüllten Thioplast vom Chemiewerk Greiz-Dölau. Ausgangspunkt beim Hersteller ist das im folgenden Abschnitt beschriebene Dolacol G, das mit speziellen Rußsorten vermischt und unter der Bezeichnung Dolacol K abgegeben wird. Dolacol K ist eine teerig-klebrige Paste von tiefschwarzer Farbe und unangenehm schwefligem Geruch. Es läßt sich nicht gießen, jedoch leicht streichen und spachteln. Zu diesem Thioplast werden als Komponenten ein Härter und ein Beschleuniger geliefert. Sämtliche Substanzen sind nicht giftig; trotzdem muß natürlich, wie bei allen Chemikalien, auf Sauberkeit beim Umgang geachtet werden. Alle drei Substanzen sind wenig feuergefährlich, Dolacol K ist jedoch im ungehärteten Zustand brennbar.

Nach Zusatz der Komponenten ergibt der ausgehärtete Thioplast eine gummiartige, schwarze, äußerst elastische, dem normalen Kabelgummi sehr ähnliche Substanz.
Dolacol K schwarz ist für den Amateur sehr interessant. Bei dem vom Hersteller ebenfalls angebotenen *Dolacol K weiß* handelt es sich um den gleichen Thioplast, jedoch mit anderen Füllstoffen an Stelle von Ruß. Dieses Material hat jedoch andersartige elektrische und schlechtere mechanische Eigenschaften als die rußgefüllte Variante *schwarz* und ist insofern weniger für den Amateur geeignet.
Der Härter für Dolacol K wird als bräunlich-schwarze (u. a. braunsteinhaltige) Aufschwemmung geliefert. Er neigt bereits bei kurzer Standzeit zum Absetzen und zum Bilden eines festen Bodensatzes. Dieser muß vor Gebrauch restlos gelöst und verrührt werden.
Als Aufbewahrungsgefäß für diese chemisch nicht übermäßig aggressive Substanz empfiehlt sich ein weithalsiges, gut verschließbares Glasgefäß. – Als Beschleuniger liefert der Hersteller zur Zeit eine weiße, pulverförmige, leicht stäubende Substanz, deren Aufbewahrung kein Problem bedeutet. Vorgesehen ist die Entwicklung eines leichter dosierbaren, flüssigen Beschleunigers. Selbstverständlich muß man auch den pulverförmigen Beschleuniger in einem feuchtesicheren Gefäß (Glasgefäß, z. B. Röhrchen mit aluminiumfoliebelegtem Korkstopfen) unterbringen. Dolacol K sollte in Glasdosen mit festschließendem Glasdeckel (vorübergehend auch in Zinkdosen oder verzinnten Blechdosen) aufbewahrt werden. Die Haltbarkeitsdauer kann man mit wenigstens zehn bis zwölf Monaten annehmen. Nähere Auskünfte über das noch relativ unbekannte, in dieser Form neuartige Material holt man zweckmäßig beim Hersteller ein.

3.3.2. Dolacol G

Dolacol G ist nicht für sich allein verwendbar und für den Amateur als Zusatzstoff anzusehen. Diese Substanz läßt sich

ohne Füll- oder Mischzusätze nicht aushärten, wie Versuche des Verfassers in Zusammenarbeit mit dem Hersteller zeigten. Dagegen lassen sich durch Mischung mit dem Epoxydharz Epilox EGK 19 sehr interessante Plastprodukte gewinnen. Sie haben gerade für den Amateur außerordentlich wertvolle Eigenschaften. Dolacol G dient beim Hersteller einmal als Grundmaterial für das im vorigen Abschnitt beschriebene Dolacol K, zum anderen wurde es vom Hersteller für die Modifizierung, insbesondere für die Elastifizierung von Epoxydharzen vorgesehen (womit es für Amateurzwecke besonders wertvoll wird).

Dolacol G – zu dem es keine Komponenten gibt – ist eine sirupartige, leicht klebrige, unangenehm schweflig riechende, wenig giftige, aber brennbare Flüssigkeit von klarem bis trübem Aussehen und grünlich-brauner Färbung. Es kann in Glasgefäßen mit Schraubdeckel (Pappdichtungseinlage) aufbewahrt werden. Man sollte es kühl lagern und Sonneneinstrahlung vermeiden. Im übrigen ist es ähnlich zu handhaben wie Epoxydharz.

Mit Polyester-Harzen kann Dolacol G nicht kombiniert werden! Abgesehen von der Unbrauchbarkeit kann es dabei zu heftigen chemischen Reaktionen kommen.

4. Welches Material für welchen Zweck? Die Eigenschaften des Materials nach der Aushärtung

4.1. Polyester G Schkopau

Das Polyesterharz Polyester G hat – je nach Rezepturansatz – nach Aushärtung eine glasklare bis leicht rosigbräunliche Färbung. Es ist praktisch nicht thermoplastisch, d. h., das Harz bleibt auch bei stärkerer Erwärmung fest. Aus einem Polyester-Gußblock herausgeführte Lötanschlüsse können z. B. unmittelbar an der Harzoberfläche ohne Erweichen des Harzes gelötet werden. Das Harz ist geringfügig elastisch und daher bei Schlag und Fall weitgehend splitterfest. Es löst sich nicht in Wasser, Benzin und Treibstoffen und ist daher für den Amateurgebrauch auch über längere Zeit als praktisch korrosions- und witterungsfest anzusehen. Das Material weist ausgezeichnete Isolationseigenschaften und geringen Verlustfaktor auf; in diesen Punkten kann es etwa dem in der Praxis des Funkamateurs wohlbekannten Polystyrol gleichgesetzt werden. Es läßt sich daher ohne weiteres auch für HF verwenden. Das ausgehärtete Harz ist praktisch geruchfrei und schwer entflammbar, jedoch brennbar (kleine Splitter brennen mit stark rußender Flamme ruhig ab). Es läßt sich nicht schmelzen und nicht in üblichen Lösungsmitteln lösen. Die Haftung auf (entfetteten und blanken) Metallflächen ist mittelmäßig; sie genügt vollauf für Dichtungs- und Stützzwecke (z. B. bei Baugruppenvergüssen), jedoch eignet sich dieses Harz weniger als Klebharz. Der sachgemäß angesetzte und ausgehärtete Guß ist ungiftig. Bei falscher oder ungenauer Rezeptur kann es jedoch vorkommen, daß entweder ein Teil des Harzes oder der Komponenten unvernetzt – d. h. chemisch aktiv – bleibt, was man durch genaue Dosierung beim Ansatz vermeidet.
Das gehärtete Harz läßt sich sehr gut bohren, sägen, feilen und polieren, also insgesamt sehr gut bearbeiten.

Der Amateur wird Polyester G vorwiegend für Eingüsse und Vergüsse von Bauelementen, Baugruppen und sonstigen Präparaten verwenden, bei denen neben guter Bruch- und Splitterfestigkeit auch auf nachträgliche Bearbeitungsmöglichkeit, auf Durchsichtigkeit (Erkennbarkeit der Einschlüsse) u. ä. Wert zu legen ist. Dieses Harz kommt daher in erster Linie für Baugruppeneingüsse in Betracht.

4.2. Epilox EGK 19

Das gesättigte Epoxydharz *Epilox EGK 19* behält seine bernsteingelbe bis rötlichgelbe klare Färbung auch nach der Aushärtung bei. Es wird bei Temperaturen ab etwa 90 bis 100 °C leicht thermoplastisch, kann also durch Erwärmung erweicht werden. Das relativ spröde EGK 19 neigt bei harten Schlägen zum Zersplittern. Typisch für dieses Harz ist – ebenso wie bei Bernstein und Baumharzen – der feinsplittrige bis pulverförmige Bruch, im Gegensatz zu den glattflächigen Brüchen leicht elastischer Plaste vom Typ Polyester G. EGK 19 kann durch Zusatz von „Weichmachern", z. B. Dolacol G, elastischer gemacht werden (vgl. Abschn. 4.4.3.).

Die elektrischen Eigenschaften sind ebenso wie beim Polyester G sehr gut, auch im HF-Bereich ($\tan \delta = 90 \cdot 10^{-4}$, Durchlaufgeschwindigkeit für 2 mm Plattenstärke = 630 kV/cm eff., spez. Widerstand $\geqq 1{,}3 \cdot 10^{15}$ Ω/cm).

Das Harz EGK 19 ist nicht löslich in Wasser, Benzin und Treibstoffen, beständig gegen Laugen, mäßig beständig gegen verdünnte Säuren. Im Rahmen amateurgemäßer Anwendung kann es ebenfalls als praktisch witterungs- und korrosionsfest angesehen werden.

Wegen seiner Färbung und seiner geringen Elastizität eignet es sich weniger für Baugruppen- und Bauteileingüsse (abgesehen von Mischungen mit Dolacol G), dagegen sehr gut als isolierende Verguß- und Ausgußmasse für Geräte, Maschinen, Wicklungen aller Art usw. Auf sehr vielen Werk-

stoffen, insbesondere aber auf Metall und (entfettetem) Glas, weist es eine außergewöhnlich starke Klebhaftung auf. EGK 19 eignet sich daher vorzüglich als Klebharz auch für solche Fälle, bei denen die Klebestelle stark belastet wird, insbesondere für Metallklebungen. Eine mechanische Nachbearbeitung ist – unter Beachtung der Sprödigkeit des reinen EGK 19 – ebenso wie bei Polyester G möglich. EGK 19 hat für den Amateur in reiner Form Bedeutung als Kleb- und Laminierharz (Anstrichharz, Isolierharz, Fugendichtung usw.), in Mischung mit Dolacol G auch für Baugruppenvergüsse mit besonderen Eigenschaften und für andere Sonderanwendungen. Hierzu werden später Beispiele gezeigt. Als Klebharz kann EGK 19 auch beim Amateur manches mechanische Aufbauproblem wesentlich vereinfachen.

4.3. Dolacol K schwarz

Dolacol K mit Rußfüllung (schwarz) ergibt nach Aushärtung eine sehr elastische Masse, die mechanisch und im Aussehen weitgehende Ähnlichkeit mit Kabelgummi hat. Reiß-, Quetsch- und Schnittfestigkeit des Dolacol K sowie die Abriebfestigkeit sind jedoch beträchtlich höher als beim Kabelgummi. Da das Material vor Aushärtung pastös ist und daher in beliebige Form gebracht werden kann, eignet es sich sowohl für formgetreue elastische Dichtungen und Verfugungen als auch zur Selbstherstellung spezieller „Gummi"-Puffer- und -Elastikteile aller Art und in beliebiger Form, gegebenenfalls unter Einbettung von Befestigungsteilen. Dolacol K brennt ähnlich ab wie Kabelgummi. Mechanisch kann es der Amateur daher diesem weitgehend gleichsetzen; jedoch ist Dolacol K insgesamt widerstandsfähiger und über lange Jahre hinweg vollständig korrosions- und witterungsfest (beim Hersteller mehrere Jahre lang ständig der freien Witterung ausgesetzte Proben zeigten keinerlei meßbare Veränderungen). In einem wesentlichen Punkt – den elektrischen Eigenschaften – unterscheidet sich Dolacol K jedoch grundlegend von Kabel-

gummi üblicher Art. Es weist eine je nach Zusammensetzung teils erhebliche elektrische Leitfähigkeit auf, die zwischen einigen hundert Ohm und einigen Megaohm liegen kann (darüber später noch mehr).
Im Gegensatz zu Kabelgummi ist Dolacol K daher als leitend anzusehen: Leitungen müssen isoliert durch dieses Material geführt werden. Bei HF-Leitungen ist dabei die durch die Leitfähigkeit bedingte, unter Umständen erhebliche Dämpfung zu beachten. Als Isoliermaterial eignet sich dieser Thioplast daher im Gegensatz zu den zuvor genannten Harzen nicht. Der Amateur kann seine mechanischen, dem Gummi sehr ähnlichen Eigenschaften für Dichtungen, Federungen, elastische Ummantelung bruchgefährdeter Teile (etwa Harzvergüsse!), Reparatur beschädigter Gummikabelmäntel u. ä. ausnutzen, aber auch seine Leitfähigkeit. Dolacol K ist beständig gegen Wasser, Treibstoff, Benzin und Öle.

4.4. Kombination der Harztypen mit anderen Stoffen

4.4.1. Streck- und Füllmittel für Epilox EGK 19

EGK 19 läßt sich mittels verschiedener Füllstoffe strecken und in seinen Eigenschaften (nach Aushärtung) beeinflussen. Die nachstehend genannten Füllmittel sind grundsätzlich bei einer Temperatur von über 100 °C zuvor sorgfältig auszutrocknen. Sie werden dem flüssigen Harz vor der Beigabe des Härters zugefügt und gut verrührt – wozu das Harz zweckmäßig auf etwa 40 bis 60 °C zu erwärmen ist. Erst nach Mischung wird der Härter zugefügt und sorgfältig verrührt. Die Füllmittelmenge kann, je nach beabsichtigten Eigenschaften des Endprodukts, auch geringer sein, als im folgenden angegeben. Zu große Füllmittelbeigabe verhindert eventuell den Härtungsvorgang ganz oder teilweise. Eigene Versuche mit anderen als den angegebenen Füllmitteln sollte man erst nach reichlicher Erfahrung und mit Kleinstmengen unter Beachtung aller Vorsichtsmaß-

nahmen vornehmen, da es je nach Füllstoff zu unvorhergesehenen, unter Umständen heftig ablaufenden Reaktionen kommen kann (die oft erst nach einiger Zeit einsetzen!). Harzansatz deshalb bis zur restlosen Aushärtung unter Kontrolle behalten!

Als Füllstoffe eignen sich:

a) *Sägemehl* – Man gibt soviel völlig trockenes Sägemehl zum Harz, bis eine teigige, noch spachtelbare, nicht bröckelnde Masse entsteht. Das Material eignet sich zur Umkleidung von Geräteteilen oder Bauelementen (z. B. Fuchsjagd-Peilrahmenhalterung), bei denen das Anbringen einer Gußform nicht möglich ist. Das Material wird je nach Mischverhältnis hart bis spröde (bei zu großer Füllstoffmenge brüchig) und kann mechanisch nachbearbeitet werden.

b) *Kreidepulver* – Man gibt auf 100 Teile Harz etwa 150 bis 180 Teile Kreidepulver. Das Material wird sehr hart und abriebfest. Geeignet für EGK-19-Anwendungen mit starker Beanspruchung der Harzoberfläche.

c) *Talkum oder Graphitstaub* (notfalls Ruß) – Man gibt auf 100 Teile Harz etwa 80 bis 100 Teile Talkum bzw. maximal 25 Teile Ruß oder Graphit. Die Materialoberfläche ist nach Aushärtung weich, gleitfähig (insbesondere mit Graphitzusatz) und leicht zu bearbeiten. Die Materialfarbe wird weitgehend vom Füllstoff bestimmt. Bei Zusatz von Graphit oder Ruß können sich die elektrischen Eigenschaften eventuell wesentlich verschlechtern, bei Talkumzusatz bleiben sie annähernd erhalten (HF-Eigenschaften sinken bei jedem Füllstoff ab!). Bei Ruß- und Graphitzusatz verschlechtert sich u. a. die Isolations- und Kriechstromfestigkeit. Dieses Material wegen Gefahr der Schmorstellenbildung nicht als Isolation bei höheren Spannungen verwenden!

d) *Metallpulverzusätze* – Solche Zusätze werden nur zur Materialangleichung des Klebharzes bei der Reparatur von Metallflächen oder Metallkörpern (Lunkerbeseitigung in Gießlingen u. ä.) benutzt, wenn das Harz lediglich zum Verspachteln von Hohlräumen ohne allzu große Anforderung an Klebkraft dienen soll. Auf maximal erreichbare Fein-

körnigkeit des Metallpulvers ist zu achten! Metallspäne eignen sich nicht (Pulver durch feines Haarsieb geben!). Geeignet sind, je nach der Oberfläche, die verspachtelt wird, materialverwandte Metalle wie Eisenpulver, Aluminiumpulver, Kupfer- und Messingpulver. Man gibt maximal soviel Metallpulver zu, daß sich eine teigige, noch gut spachtelbare Masse ergibt. Zur Farbtonangleichung sind Mischungen der Metallpulver sowie Mischungen zwischen Metallpulver und einem der zuvor genannten Füllstoffe möglich. Farbstoffzusätze scheiden wegen Gefahr von Nebenreaktionen aus!

4.4.2. Die Verträglichkeit der Gießharze mit anderen Kunststoffen

Die Verträglichkeit der Gießharze mit anderen Kunststoffen muß in zwei Phasen betrachtet werden: während der *flüssigen Phase* vom Ansatz bis zur erfolgten Aushärtung, und im ausgehärteten Zustand, der *festen Phase*. In der Flüssigphase sind chemische Reaktionen zwischen dem Harz bzw. seinen – zu dieser Zeit noch aktiven – Komponenten und dem artfremden Material sowie physikalische Auflösungsvorgänge möglich. In der festen Phase hat man im allgemeinen keine späteren Veränderungen chemischer Art zu erwarten, es sei denn, ein Teil des Harzes oder der Komponenten ist infolge falschen Ansatzes (ungenauer Dosierung) unvernetzt und damit noch aktiv geblieben. In diesem Fall kann es allerdings noch Monate nach der Aushärtung zu Bauelementeausfällen bei Vergüssen von Baugruppen bzw. ähnlichen Folgeerscheinungen kommen! Nur genaueste Dosierung beim Ansatz bietet entsprechende Sicherheit! Nachträglich (nach erfolgtem Ansatz) läßt sich nichts mehr retten.
In der flüssigen Phase ist eine Reaktion des Harzes oder seiner Komponenten bei den in der funktechnischen und elektronischen Praxis vorkommenden Materialien und Bauelementen im allgemeinen nicht zu befürchten. Dagegen

kann es – besonders bei Verwendung des Harzes Polyester G – gelegentlich zur Auflösung von Kunststoffen auf Zelluloid- oder Polystyrolbasis kommen. Davon sind dünnschichtige, ausgedehnte Gebilde – Zelluloidfolien, die etwa als Abstandshalter eingelegt wurden – in erster Linie betroffen; z. B. können aber auch Spulenkörper merklich angegriffen werden. Dem läßt sich durch geschickten Aufbau vorbeugen: Ein erweichender Spulenkörper verändert, wenn er geschickt und ohne mechanische Beanspruchung in der Baugruppe angeordnet ist, während der Aushärtung kaum seine Lage und Form, härtet zusammen mit dem Harz bzw. mit diesem verschmelzend wieder aus und wird vom harten Harz fixiert (Spulenkerne sind danach allerdings kaum noch gängig zu bekommen). Oder aber man überzieht die gefährdeten Teile mit einer dünnen Schutzlackschicht (Tischlerleim! Nitrolacke u. ä. lösen sich meist ebenfalls), die man vor Verguß trocknen läßt. Auch PVC-Lösungen eignen sich. *Auf PVC – also u. a. auf allen üblichen Schaltdrahtisolierungen – haften die in diesem Heft beschriebenen Gießharze nicht!* Im Zweifelsfall verschafft man sich vor Vergießen durch eine kurze Löslichkeitsprobe mit dem betreffenden Material Gewißheit. Der Decklack von Widerständen löst sich gelegentlich auf und geht deutlich sichtbar in das umgebende Polyesterharz über. Dies ist belanglos, da das Harz den Widerstand jetzt abdeckt und seine Widerstandsschicht vom Harz in keiner Weise angegriffen wird.
Bei der Aushärtung tritt – je nach den Temperaturverhältnissen – besonders bei Polyester G eine merkliche Schrumpfung des Gießlings ein, was sich nur durch nicht zu schnelle Aushärtung bei nicht zu hohen Temperaturen vermeiden läßt (vgl. Abschnitt 5.3.). Dies begünstigt die Loslösung des Gießlings von Stoffen, auf denen Harz nicht haftet (Formwandung, PVC-Einschlüsse!). Deshalb können Anschlüsse aus einem Gießharzblock nicht mit PVC-isolierter Leitung herausgeführt werden. Man führt die Anschlüsse blank heraus, wobei das auf Metall gut haftende Harz für die notwendige Abdichtung sorgt. Etwa aus

äußerlichen Gründen am Austrittspunkt erforderliche PVC-Isolierungen führt man deshalb nur bis zu wenigen Millimetern in das Harz und läßt die Leitung danach noch einige Millimeter blank im Harz verlaufen.
Die Komponenten der Gießharze sind, wie unter 3. erwähnt, im Reinzustand fast alle chemisch sehr aggressiv. Im fertigen Ansatz macht sich diese Aggressivität jedoch nicht mehr nachteilig bemerkbar, d. h., es können mit dem fertig angesetzten Harz auch solche Stoffe vergossen werden, die nach dem an anderen Stellen Gesagten mit den reinen Komponenten nicht in Berührung kommen dürfen. Lediglich bezüglich der Gift- und Ätzwirkungen auf die menschliche Haut sowie bezüglich der Entflammbarkeit eventueller Dämpfe ist der Harzansatz bis zur vollständigen Aushärtung als aggressiv anzusehen.

4.4.3. Die Kombination EGK 19 / Dolacol G

Durch die Beigabe von Dolacol G zum Gießharz EGK 19 kann ein Härtungsprodukt mit weitgehend variierbaren mechanischen Eigenschaften hergestellt werden, dessen elektrische Eigenschaften nur geringfügig schlechter sind als die des reinen EGK 19. Dolacol G wirkt als „Weichmacher" für das im Reinzustand sehr harte und spröde Harz. Zur Rezeptur sei schon hier erwähnt, daß sich das endgültige Gemisch des Ansatzes aus drei Bestandteilen zusammensetzt: aus dem Harz EGK 19, dessen Härter Nr. 3 und dem Dolacol G. Man mischt zunächst EGK 19 mit Dolacol G und gibt *zuletzt* den Härter zu. Dabei bemißt man die Härtermenge lediglich nach der Harzmenge, und zwar ganz so, als solle die benutzte Harzmenge ohne Dolacol-Zusatz regulär angesetzt werden. Dolacol G wird also unabhängig von seinem Mengenverhältnis zum EGK 19 bei der Härterdosierung nicht berücksichtigt. Es greift in die Härtung aktiv ein und benötigt daher keinen eigenen Härter.
Je nach dem Mischungsverhältnis zwischen EGK 19 und

Dolacol G kann die Beschaffenheit des Härtungsprodukts in allen Zwischenstufen variiert werden von der des reinen EGK 19 bis zu einer elastischen Variante ähnlich Polyester G, einer elastisch-federnden Variante ähnlich PVC-hart, einer gummiartig-zähen Masse ähnlich PVC-weich bis Kabelgummi und einer weichplastischen, knetbaren Masse. Das heißt, das Material läßt sich allen Aufgaben weitgehend anpassen. Mit zunehmender Weichheit wird auch die Reiß-, Kleb- und Haftfestigkeit geringer. Der „knetbare Plast" hat deshalb kaum noch praktischen Wert. Brauchbare Varianten liegen etwa zwischen den Mischungsverhältnissen (EGK 19 : Dolacol G, in Raumteilen) 10 : 1 – für Elastifizierung bzw. bessere Splitterfestigkeit ohne wesentliche Veränderung der äußeren Eigenschaften gegenüber reinem EGK 19 – und 1 : 1 für eine gummiartige, noch ausreichend reißfeste, dem Dolacol K ähnliche, jedoch transparente und isolierende Substanz. Letztere vom Verfasser gefundene und eingehend erprobte Mischung 1 : 1 weist gerade für den Amateur eine Reihe sehr wertvoller Eigenschaften auf. Das so gewonnene zäh-elastische Produkt ist von bräunlichgelber, leicht trüber Färbung bei noch guter Durchsichtigkeit. Auf anderen Materialien, insbesondere Metallen, haftet es schwach, läßt sich aber relativ leicht von ihrer Oberfläche abziehen und mit dem Messer schneiden. Es eignet sich damit vorzüglich für eine isolierende Außenummantelung sowohl von Polyester-Gußblocks (um diese auch für starken Aufprall splittersicher zu machen) als auch zur direkten Ummantelung von Bauelementen, stromführenden Leitungen (einschließlich HF-Leitungen bei mäßigem Verlustfaktor) und zum Einguß ganzer Baugruppen. In dem letzten Fall ergibt sich der Vorteil, daß eine mit dieser Elastikkombination vergossene Baugruppe im Rahmen amateurmäßiger Verwendung noch ausreichend gegen Stürze und Klimaeinflüsse gesichert ist, daß die Anschlüsse blank herausgeführt werden können und daß sich die Baugruppe im Reparaturfall – etwa bei versehentlicher Überlastung – mit Messer und Pinzette wieder öffnen läßt. Im Gegensatz zu harten Harzvergüssen

kann eine solche Baugruppe also repariert und anschließend neu vergossen werden. – Darüber hinaus bietet diese Elastikkombination weitere Anwendungsmöglichkeiten, wie unter 7. noch gezeigt wird. Kombination von Dolacol G mit Polyester-Harzen darf nicht versucht werden; vgl. S. 21.

4.5. Der Leitfähigkeitseffekt beim Thioplast Dolacol K schwarz

Der rußgefüllte Thioplast Dolacol K des VEB Chemiewerk Greiz-Dölau weist eine elektrische Leitfähigkeit auf, die je nach Zusammensetzung des Materials (nur vom Hersteller beeinflußbar) in der Größenordnung einiger hundert Ohm bis zu einigen hundert Kiloohm liegt. An diesem Material stellte der Verfasser fest, daß der Widerstand dieses Plastes vom Druck abhängt. Er ist bei völlig entspanntem Material am größten und verringert sich bei Druck- oder Zugbelastung des Plastes um ein bis zwei Größenordnungen, wobei die Widerstandsänderung der Kraftänderung und der jeweilige Widerstand der Krafteinwirkung proportional sind. Der Plast hat rein Ohmschen Charakter und einen ausgeprägten negativen Temperaturkoeffizienten. Der Widerstand ist stromrichtungsunabhängig; sein Ohmscher Charakter bleibt zwischen Frequenzen von 0 bis 20 kHz unverändert. Damit eignet sich dieser Plast voraussichtlich sehr gut als Wandler für nichtelektrische in elektrische Größen (u. a. als Meßwertwandler). Er ist übrigens der einzige bisher bekanntgewordene leitfähige Plast mit druckabhängigem Widerstand. Wie die Anwendungsbeispiele in Abschnitt 7.9. zeigen, wird ein solcher Wandler weit einfacher, billiger und robuster als die derzeit bekannten Wandler und liefert außerdem ein Ausgangssignal in einer Größenordnung, die in vielen Fällen jede Nachverstärkung erübrigt. Die Anwendung eines leitfähigen Plastes mit druckabhängigem Widerstand, insbesondere des Thioplastes Dolacol K, als Wandler für nichtelektrische in elektrische Größen wurde vom Verfasser

unter Nr. WP 21c/106259 zum Patent angemeldet.* Die vorstehenden Angaben zur Anwendung des Dolacol K dürfen daher ohne Genehmigung des Patentamtes der DDR vom Amateur nur innerhalb seiner Basteltätigkeit, nicht aber für gewerbliche Zwecke benutzt werden. Die volkswirtschaftlichen Aussichten dieses neuartigen Verfahrens lassen sich augenblicklich noch nicht völlig überblicken. Die unter 7.9. gegebenen ersten Anwendungsbeispiele sollen als Anregung dienen. Der experimentierfreudige und ideenreiche Amateur kann in dieser Hinsicht vermutlich viele derzeit noch unbekannte Anwendungsbereiche entdecken und den Impuls zu ihrer Erschließung geben.
Zur Materialeigenschaft dieses Wandlerplastes ist noch zu erwähnen, daß nach den Untersuchungen des Verfassers die Oberflächenleitfähigkeit keine wesentliche Rolle spielt. Bei Verwendung niederohmiger Plaste kann ein Wandlersystem mit eingebetteten Elektroden, ggf. sogar mit Oberflächenelektroden (etwa nach Art der später bei Bild 48 a und 48 c beschriebenen), ohne jede zusätzliche Vorkehrung sogar unter Wasser betrieben werden, wie Versuche des Verfassers zeigten. Es ist anzunehmen, daß es dem Hersteller des Plastes gelingen wird, die Eigenschaften dieses ursprünglich nicht für elektrotechnische Zwecke entwikkelten Plastes der Aufgabenstellung als Wandler noch besonders anzupassen. Gegenüber üblichen, datenmäßig und funktionsmäßig vergleichbaren Wandlern kann der Plastwandler eine Kostensenkung um mindestens 1 bis 2 Größenordnungen dort ergeben, wo mittlere Meßgenauigkeiten ausreichen.

*) Patent wurde nach Redaktionsschluß erteilt.

5. Allgemeines zur Verarbeitung von Gießharzen

5.1. Die Schädlichkeit der Gießharze Polyester G und EGK 19 für den Menschen

Wie unter 3. schon erwähnt, muß vor allem mit den Komponenten der Harze (Beschleuniger, Härter) vorsichtig umgegangen werden. In erster Linie hat man ihre mögliche Ätzwirkung zu beachten. Ein Berühren mit den bloßen Händen sollte man unbedingt vermeiden; peinliche Sauberkeit beim Arbeiten ist Voraussetzung. Selbstverständlich sind die Aufbewahrungsgefäße außen sauberzuhalten. Auch die flüssigen Harze selbst haben eine – wenn auch geringere – Ätzwirkung, die zu Hautentzündungen führen kann. Sollten während oder *einige Wochen nach* dem Umgang mit Gießharzen und ihren Komponenten Hautausschläge auch geringfügigster Art auftreten, so ist in jedem Fall unverzüglich ein Arzt aufzusuchen und über die mögliche Ursache zu informieren. Auf die Haut geratene Spuren der Substanzen müssen sofort entfernt werden. Es empfiehlt sich als Gegenmaßnahme sofortige Neutralisation:

bei Polyester G – Haushaltsalmiakgeistlösung;
bei EGK 19 – 3prozentige Essigsäure bzw. Haushaltessig einige Minuten einwirken lassen;
anschließend gründliches Waschen und reichlich Seifenschaum, fließendem warmem Wasser und einem mechanisch wirkenden Handwaschmittel (ATA, Scheuersand o. ä.), um wasserunlösliche Harzreste sicher zu entfernen.

Besondere Aufmerksamkeit ist den Fingernägeln zu widmen, unter denen sich Harzreste sehr leicht unbemerkt festsetzen. Mit Schleimhäuten dürfen die Chemikalien nicht in Berührung kommen, eine Schutzbrille ist daher unerläßlich. Es lohnt sich, ein Paar billige Gummihandschuhe anzuschaffen. Sie müssen allerdings nach beendeter Arbeit *vor*

dem Ausziehen gewaschen werden, anderfalls sind sie zwecklos! Abzuraten ist auch von der Verwendung von Lösungs- und Reinigungsmitteln, wenn Chemikalien oder Harz verschüttet wurden – zur Hautreinigung sind solche Mittel streng verboten! Sie begünstigen lediglich eine noch feinere Verteilung der Chemikalien auf Arbeitsplatz oder Hautoberfläche und ihr Eindringen in diese!
Die insbesondere beim Anrühren des Harzansatzes und während des Aushärtens auftretenden Dämpfe sind bei geringen Harzmengen und nur gelegentlichem Arbeiten nicht schädlich, jedoch sollte nach Möglichkeit am offenen Fenster und nicht in Wohnräumen gearbeitet werden. Vorratsgefäße sind sofort nach Entnahme wieder zu verschließen.

5.2. Sonstige Gefahren

Hinsichtlich Aggressivität des Materials ist das Gießharz Polyester G relativ am unbequemsten zu handhaben. Besonders die Komponenten Härter (Cyclohexanonperoxid-Paste) und Kobalt-Beschleuniger sind mit Vorsicht zu benutzen.
Auf die allgemeinen Lagerungsbedingungen und Eigenschaften der Harze sowie ihrer Komponenten wurde unter 3. bereits eingegangen. An dieser Stelle sei jedoch nochmals darauf hingewiesen, daß die Cyclohexanonperoxid-Paste niemals trocken werden darf. Nötigenfalls ist etwas Styrol nachzufüllen (das aber chemisch rein sein muß). Da Styrol nur wenig flüchtig ist, braucht man bei einwandfreiem Flaschenverschluß kaum mit Eintrocknen zu rechnen. Trotzdem sollten etwaige Materialvorräte wenigstens alle 6 Wochen kontrolliert werden. Auf eine mögliche Toxizität des ausgehärteten Harzes infolge falscher Dosierung (Reste der Komponenten oder unvernetztes Harz) wurde bereits hingewiesen.
Verharzte oder verklebte Flaschenverschlüsse sind vorsichtig zu öffnen. Bei Glasstöpselflaschen klopft man dazu

vorsichtig mit einem kleinen Holzklotz oder mit dem Hammerstiel (nur mit dem Stiel!!) schräg von unten rundum an den Stöpsel, der sich dann – oft erst nach einiger Zeit – lockert. Andere Methoden führen meist zum Ausbrechen des Flaschenhalses oder Stöpsels. Streng verboten ist bei Komponentenbehältern jegliches Erwärmen des Verschlusses. Bei Harzvorratsflaschen kann man eine leichte Erwärmung (bis höchstens 50 °C) mit Hilfe eines Lappens versuchen, der in warmes Wasser getaucht wurde.

Daß von eigenen Rezeptur- und Mischungsversuchen jeder Art, insbesondere mit den Komponenten, Abstand genommen wird, versteht sich von selbst. Mag ein Chemiker auch über die mehrfach wiederholten Vorsichtsmaßregeln für diese seinen Begriffen nach „harmlosen" Substanzen lächeln: Der Funkamateur ist kein Chemiker; er befindet sich also etwa in der Lage eines Chemikers, der an einem unter Netzspannung stehenden Gerät einen für Funkamateure „harmlosen" Eingriff vornehmen soll! Tatsächlich ist der Umgang mit Gießharzen und ihren Komponenten nicht schwierig – sofern man weiß, wobei es darauf ankommt!

Besonders hinzuweisen ist auf zwei nicht ganz ungefährliche Eigenschaften der Polyester-G-Komponenten. Die mögliche Neigung zu explosivem Zerfall trockenen Cyclohexanonperoxids – außer bei Zusammentreffen mit brennbaren bzw. entflammbaren oder leicht oxidierbaren Stoffen auch auf mechanischen Schlag, Stoß oder mechanische Reibung! – wurde bereits erwähnt. Das aus diesem Grunde beigefügte Feuchthaltemittel Styrol hat die Eigenschaft, bei Ansteigen der Raumtemperatur gelegentlich durch einen nicht ganz dichten Flaschenverschluß herauszuquellen. Dadurch kann das zuvor saubere Vorratsgefäß unversehens außen mit Styrol und eventuell mit Spuren der Peroxidpaste bedeckt sein. Deshalb sollte man dieses und auch das Gefäß mit dem Beschleuniger stets in einem zweiten größeren Gefäß (Weckglas), Glasuntersatz o. ä. aufbewahren. Damit wird auch bei Flaschenbruch durch äußere Einwirkung ein Zusammenfließen beider Komponenten –

die nie unmittelbar nebeneinander stehen sollen – vermieden. Der Kobalt-Beschleuniger hat die unangenehme Eigenschaft, bei direktem Zusammentreffen mit der Härterpaste explosiv zu reagieren, und – das ist besonders wichtig – der Kobalt-Beschleuniger reagiert mit Ölen und Fetten aller Art unter Umständen mit Selbstentzündung.
Das hat besondere Bedeutung bei der Verarbeitung. Es sind peinlich saubere Gefäße, saubere Putzlappen usw. zu benutzen, und zwar für Härter und Beschleuniger getrennte Lappen, Gefäße, Rührstäbe usw. Zweckmäßig ordnet man beides auf verschiedenen Seiten des Arbeitsplatzes an, oder man räumt zunächst den Härter nebst zugehörigem Rührstab, Lappen usw. beiseite, bevor man den – nach dem Härter zuzusetzenden – Beschleuniger auf den Arbeitstisch bringt. Ein ölgetränkter Putzlappen kann beim Aufwischen eines danebengefallenen Tröpfchens Kobaltbeschleuniger zur Brandursache werden! Im übrigen ist auch der Kobaltbeschleuniger vor dem Eintrocknen zu bewahren.
Das *EGK 19* läßt sich einfacher verarbeiten. Hier hat man es nur mit dem *Härter Nr. 3* zu tun, der bezüglich der Ätzwirkung ebenfalls kritisch, im übrigen aber nicht so aggressiv ist, wie bei den Komponenten des Polyesterharzes geschildert. Selbstverständlich sind auch beim *EGK 19* saubere Geräte und Putzlappen Voraussetzung.
Verdorbene oder sonstwie nicht mehr brauchbare Chemikalien gehören keinesfalls in den Ofen und auch nicht in die Mülltonne, sondern sie sind an geeigneter Stelle tief im Erdboden zu vergraben, und zwar so, daß sie nicht zufällig von Dritten aufgefunden werden können. Einander „feindliche" Stoffe vergräbt man getrennt, nach Möglichkeit ausgeschüttet und verteilt im Erdreich. Ebenso ist mit bereits angesetzten, nicht benötigten Harzresten zu verfahren. Sie werden vor Aushärtung im Erdboden breitgegossen, um Exothermiewärme (vgl. 5.3.) zu vermeiden.

5.3. Die exotherme Reaktion bei Ansatz und Härtung

5.3.1. Auswirkungen der Exothermie

Eine charakteristische Erscheinung beim Aushärten der Gießharze wurde bisher nicht erwähnt. Die Harze sind zwar sogenannte *kalthärtende Typen,* was aber lediglich besagt, daß zur Härtung keine Wärme*zufuhr* erforderlich ist. Tatsächlich erzeugt aber die Härtungsreaktion im Harz eine zum Teil beträchtliche Wärme. Es handelt sich also um eine chemische Reaktion, bei der Wärme abgegeben wird, um eine exotherme Reaktion (im Unterschied zur endothermen Reaktion, die nur unter Wärmezufuhr vor sich geht). Es ist nun wichtig zu wissen, daß Gießharze erstens schlechte Wärmeleiter sind und daß zweitens die Geschwindigkeit der Härtungsreaktion sehr von der Harztemperatur abhängt. Die Zeit zwischen Zugabe der Komponenten und Gelierungsbeginn (Übergang vom flüssigen in den festen Zustand) kann je nach Temperatur und Dosierung der Komponenten zwischen 30 Minuten und 24 Stunden liegen. Diese Zeit (auch als Topfzeit bezeichnet) steht nach erfolgtem Ansatz zur Verfügung, um das Harz zu verarbeiten. Durch die Härtungsreaktion und die damit verbundene Wärmeentwicklung steigt die Harztemperatur mehr oder weniger an. Die Härtungsreaktion wird demgemäß beschleunigt, die Wärmeentwicklung geht schneller vonstatten – die entwickelte Wärme kann jedoch besonders bei größeren Harzvolumen nicht so rasch durch das Harz nach außen abgeleitet werden! –, die Harztemperatur steigt weiter an und beschleunigt die Reaktion noch mehr. Es kann auf diese Weise zum *thermischen Hochlaufen* der Reaktion kommen, d. h., nach einer gewissen Standzeit, in der scheinbar nichts geschieht (30 Minuten bis einige Stunden), setzt die Wärmeentwicklung plötzlich ein, und das Harz erreicht unter Umständen eine Temperatur von weit über 100 °C. Die Gelierung erfolgt dann binnen weniger Minuten. In dieser Schnelligkeit vernetzt das Harz jedoch nicht exakt, so daß es zu Spannungen im Harz und zu be-

trächtlicher Schrumpfung kommt. Abgesehen von Schädigungen der eingeschlossenen Bauteile durch Temperatur und Schrumpfungsdruck kann der Gußblock dabei noch während der Aushärtung in mehrere Teile zersplittern, wobei eventuell Form bzw. Anrührgefäß zerstört wird. Es gilt daher, dieses exotherme Hochlaufen der Härtungsreaktion, das auch zur Blasenbildung im Guß führen kann, zu vermeiden, notfalls durch Kühlung der Gußform. Umgekehrt kann man eine zu schleppend verlaufende Härtung durch Erwärmen beschleunigen. Der erste Fall ist meist bei Baugruppen- und ähnlichen Kompaktvergüssen gegeben, der zweite bei Klebungen, Laminierungen und Anstrichen. Besonders exothermiegefährdet sind Polyester-G-Güsse, bei denen die Wärmeentwicklung meist im Geliermoment (also gerade im kritischsten Stadium) und dann ziemlich plötzlich einsetzt. Ebenso plötzlich (manchmal sogar binnen einer Minute!) geht die Erstarrung vor sich, falls die Temperatur nicht sorgfältig überwacht wird. *Epoxydharz EGK 19* verhält sich etwas „gemütlicher"; die Exothermie setzt noch im Flüssigstadium ein und zieht sich ebenso wie die Erstarrung (die nicht wie beim Polyesterharz über ein gallertartiges, sondern über ein harzig-zähklebriges Zwischenstadium verläuft) etwas länger hin, so daß die Temperaturüberwachung trotz der insgesamt auch nicht geringeren Wärmeentwicklung in diesem Fall leichter gelingt. Besonders günstig verhalten sich Mischung *EGK 19/ Dolacol G* – 1 : 1 (die ebenfalls exothern reagiert, jedoch noch im Flüssigstadium lange vor Erstarrung, und die demzufolge nach Mischung und Abkühlung verarbeitet werden kann) und *Dolacol K*, das überhaupt nicht exotherm reagiert.

5.3.2. Maßnahmen gegen Überhitzung beim Aushärten

Gießharze sind, wie gesagt, schlechte Wärmeleiter. Es kommt also darauf an, die entstehende Reaktionswärme gut und rechtzeitig abzuleiten. Problematisch ist das nur

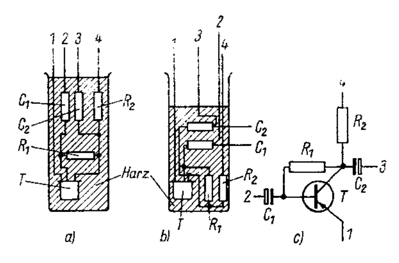


Bild 2 Raumausnutzung in Gießharzbaugruppen
a – ungünstige Anordnung, b – günstigere Anordnung der Bauelemente, c – die für dieses Beispiel angenommene Schaltung

bei größeren Harzvolumen, also bei Baugruppeneingüssen. Sind diese mit hoher Bauelementedichte aufgebaut, also platzmäßig gut ausgefüllt, so erfordert das geringe verbleibende Harzvolumen kaum eine Kühlung, zumal auch die eingeschlossenen Bauelemente als Wärmespeicher für die entstehende Wärmemenge wirken. Man wird derartige Baugruppen also so konstruieren, daß ein möglichst geringer Hohlraum auszugießen bleibt. Bild 2 zeigt das an einem Beispiel. Die Anordnung der Bauelemente nach Bild 2 a wirkt sich ungünstig aus, denn sie erfordert unnötig viel Harzfüllung. Günstiger ist die Anordnung nach Bild 2 b, bei der man mit weniger Harzvolumen auskommt. Bild 2 c zeigt zur Verdeutlichung die Schaltung der als Beispiel angenommenen Baugruppe. Beim Eingießen von Halbleitern muß auch bedacht werden, daß zu hohe Temperatur – falls der Guß auf mehr als 80 °C „hochläuft" – die Halbleiter zerstören kann! Abgesehen davon kann zu hohe Temperatur unter Umständen auch das für die Formwand benutzte Trennmittel (über das ein späterer Abschnitt Auskunft gibt) zum Ablaufen bringen. Dies führt zu unsauberer Oberfläche des Gießlings (Narben- und Lunkerbildung) und macht eventuell ein Entfernen des Gießlings aus der Form nahezu unmöglich. Deshalb muß man die Temperatur bis zur vollständigen Aushärtung des Gießlings unter Kontrolle behalten (bei den

für Baugruppen u. ä. üblichen kleinen Formen geschieht das am einfachsten durch Handanlegen; sobald eine auch nur geringe Eigenerwärmung des Gießlings merkbar wird, muß die Kühlung einsetzen!). Bei Gefahr des thermischen Hochlaufens kann man die weitere Erwärmung durch Eintauchen der Gußform in ein Kühlwassergefäß stoppen. Bei Polyester-Güssen heißt es dabei jedoch, den richtigen Zeitpunkt zu erfassen: Setzt die Kühlung zu spät ein, so genügt die äußere Wärmeableitung oftmals nicht mehr, um das Hochlaufen der Temperatur rechtzeitig zu stoppen. Deshalb ist gerade bei diesem Harz der unter 5.4.3. beschriebene Kontrollguß wertvoll.

5.4. Die Aushärtung

5.4.1. Allgemeine Hinweise zur Aushärtung

Recht unproblematisch ist die Aushärtung beim *Dolacol K*. Hier bleibt die pastöse Masse nach Zugabe von Härter und Beschleuniger noch wenigstens 2 Stunden unverändert, wird allmählich immer zäher und erreicht nach 24 bis 48 Stunden (abhängig von Temperatur und Luftfeuchte) den Endzustand. Exothermie tritt nicht auf. Erwärmung und hohe Luftfeuchte beschleunigen die Aushärtung.
Bei Aushärtung des Gemischs *Dolacol G/Epilox EGK 19* tritt etwa 20 bis 60 Minuten nach Zugabe des *Epiloxhärters Nr. 3* eine exotherme Reaktion auf, die jedoch bei Harzansatzvolumen bis zu etwa 50 cm³ keiner besonderen Kontrolle bedarf. Größere Ansätze kühlt man während dieser Periode im Wasserbad. Der Ansatz macht während der Wärmeentwicklung ein dünnflüssiges Stadium durch. Nach dessen Abklingen und nach Abkühlen des Ansatzes kann die Masse vergossen werden. Die Aushärtung verläuft danach im Verlauf von 12 bis 30 Stunden (je nach Umgebungstemperatur) kontinuierlich und ohne weitere Wärmeentwicklung über zunehmend harzig-zähe, fadenziehende Zwischenstufen bis zum elastischen Endprodukt.

Bei diesen beiden Materialien kann man also den Gießling nach Verguß bis zur Aushärtung unbeobachtet an geeignetem, nicht zu kühlem Ort stehenlassen.
Ähnlich verläuft die Härtung bei reinem Epiloxharz. Auch bei diesem Harz tritt nach Härterzusatz innerhalb 20 Minuten bis 2 Stunden (je nach Ausgangstemperatur des Harzes) eine allerdings beträchtliche Wärmeentwicklung auf. Den EGK-19-Ansatz wird man deshalb im allgemeinen vom Beginn der Wärmebildung an bis zum Ende kühlen müssen. Unmittelbar nach Abklingen der Erwärmung verdickt sich das Harz zunehmend (nachdem es zunächst ebenfalls eine dünnflüssige Phase durchlaufen hat). Es kann verarbeitet werden, solange es noch ausreichend fließ- oder streichfähig ist. Je nach Temperatur stehen dafür mindestens 30 Minuten bis zu einigen Stunden zur Verfügung. Die Härtung dieses Harzes erfolgt bei Raumtemperatur in etwa 24 Stunden bis zur festen Beschaffenheit des Gusses. Restlose Aushärtung, d. h. maximale Festigkeitswerte, erreicht EGK 19 – ebenso wie fast alle anderen Harze – erst nach etwa 8 Tagen. In den ersten Tagen sind die Gießlinge also noch vor stärkerer Beanspruchung zu schützen. Bei gefülltem *Epilox EGK 19* ist die exotherme Reaktion wegen der wärmespeichernd wirkenden Füllstoffe geringer; trotzdem sollten auch in diesem Fall größere Ansatzmengen überwacht und gegebenenfalls gekühlt werden.
Polyester G durchläuft nach Ansatz ebenfalls eine – allerdings wenig ausgeprägte – dünnflüssige Phase. Danach setzt (je nach Harztemperatur) in etwa 20 bis 60 Minuten die Gelierung ein. Im Gegensatz zu den übrigen, allmählich zäher werdenden Substanzen beginnt *Polyester G* binnen weniger Minuten nach Einsatz der Härtung zäher zu werden (Bildung kleiner Gallertklümpchen am Rührstab beim Umrühren des Ansatzes ist ein Merkmal dafür); gleichzeitig setzt ziemlich unvermittelt die Wärmebildung ein, die unter Umständen sehr schnell zunehmen kann. Zum Zeitpunkt des Zähwerdens muß das Harz bereits verarbeitet sein. Verarbeitung noch bei Gallertbildung gelingt

entweder nicht mehr oder führt zu ungleichmäßigen Gießlingen mit inneren Spannungen, die zu Rißbildung neigen. Das Harz verfestigt sich jetzt sehr schnell zu einer gelatineartigen Masse (in diesem Zustand reißt der Gießling sehr leicht ein, wenn die eingeschlossenen Teile bewegt werden!) und härtet dann bei relativ kurzzeitiger, beträchtlicher Wärmebildung binnen weniger Stunden bis zum formfesten Zustand aus. Die vollständige Aushärtung dauert auch bei diesem Harz noch einige Tage.
Aus dem Gesagten geht hervor, daß die Ausgangstemperatur des Harzes in weiten Grenzen die *Topfzeit* (Verarbeitungszeit bis zum Härtungsbeginn) bestimmt. Durch kühl gehaltenes Ansatzgemisch kann man die Topfzeit auf mehrere Stunden ausdehnen, durch anschließendes Erwärmen des Gießlings die Härtung relativ schnell einleiten bzw. beschleunigen. Nach dem unter 5.3.1. Gesagten muß dabei allerdings die Eigenerwärmung während der Reaktion beachtet werden. Besonders gilt das für die im erwärmten Zustand relativ schnell reagierenden Polyester-Gießlinge. Bei ihnen muß der Guß ständig kontrolliert, die Erwärmung (Warmwasserbad) rechtzeitig abgebrochen und notfalls sofort das Kühlwasserbad angewendet werden; andernfalls ist ein thermisches Hochlaufen kaum zu verhindern. Die Ansatzvorschriften unter 6. sagen dazu Näheres.
Grundsätzlich gilt, daß die Härtung beschleunigt wird

a – mit der Temperatur,

b – mit zunehmender Menge der Komponenten.

Innerhalb der Rezepturwerte kann man also den Ansatz bereits so vornehmen, daß entweder schnelle Aushärtung oder längere Topfzeit erreicht wird. Für Baugruppeneingüsse mit Polyester wird man im allgemeinen aus Gründen der Arbeitszeit schnelle Aushärtung anwenden, zumal die in jedem Fall vorhandene Topfzeit von wenigstens 20 Minuten bei weitem für den Einguß ausreicht. Gerade bei Polyester-Ansätzen muß jedoch mit Rücksicht auf die Wärmeableitung während der im Warmzustand recht schnell verlaufenden Härtung das Gußvolumen beachtet werden. Ansatztemperaturen um 40 °C zwecks schnellen

Geliereinsatzes kann man nur bei Harzvolumen von wenigen Kubikzentimetern riskieren. Größere Ansatzmengen hält man besser von vornherein unter 20 bis 25 °C, weil bei ihnen eine Ableitung der Reaktionswärme, die über dieser Temperatur liegt, kaum noch gelingt (falls die Beschleunigermenge im Harzansatz für Schnellhärtung bemessen ist). Sicherer vermeidet man thermisches Hochlaufen – das sehr leicht mit zerstörten Bauelementen und geplatztem Gießling endet – durch Anwendung geringer Beschleunigermengen und langsamer Aushärtung über einige Tage bei Raumtemperatur mit entsprechend temperiertem Wasserbad.
Im allgemeinen hat es der Funkamateur bei Polyester-Güssen nur mit Volumen von wenigen Kubikzentimetern zu tun. Man halte jedoch auch den Harzrest im Ansatzgefäß unter Kontrolle, da auch dieser unversehens auf Temperaturen über 100 °C ansteigen und dabei das Gefäß zersprengen kann. Wird der Rest nicht mehr benötigt, so gießt man ihn auf einer unbrennbaren Unterlage breit auf Packpapier aus; die auf diese Weise geschaffene große Oberfläche verhindert Eigenerwärmung.
Bei Laminaten, Klebungen, Anstrichen usw., die von vornherein ausreichende Eigenkühlung bzw. gute Wärmeableitung aufweisen, spielt dieses Problem kaum eine Rolle; im Gegenteil: Meist wird in solchen Fällen eine mäßige Erwärmung von Vorteil für ein schnelles Härten sein.
Bild 3 zeigt, wie das – oftmals erforderliche – Wasserbad beschaffen sein soll. Das Wasser soll wenigstens das 20- bis

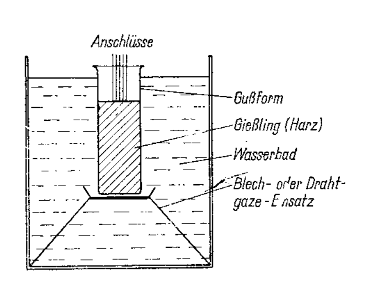


Bild 3
Wasserbad für Wärme- oder Kühlzwecke

30fache Volumen des Gießlings aufweisen. Die Gußform wird im Wasser auf ein kleines Blech- oder Drahtgazegestell gesetzt, dessen Höhe man nach Bedarf (Gußformgröße) biegt. Der Wasserspiegel soll über dem Harzspiegel stehen. Als Kühlwasserbad eignet sich normales Leitungswasser (12 bis 20 °C), als Warmwasserbad zur schnelleren Einleitung des Härtungsvorgangs sind 45 bis 50 °C, maximal 60 °C zweckmäßig. Bei derartigen Blockgüssen wird man zweckmäßig beide Bäder auf dem Arbeitstisch bereithalten und die Gußform nach Bedarf abwechselnd in das eine oder in das andere Bad stellen, wobei zur Temperaturkontrolle ein Anfassen der Gußform mit der Hand ausreicht (sobald der in der Hand gehaltene Guß nicht kühler, sondern deutlich wärmer – nicht heiß! – wird, muß die Kühlung einsetzen!).

5.4.2. Die Härtung unter besonderen Bedingungen

Ein schnelles Aushärten von Polyester-G-Gußblöcken im Volumen einiger Kubikzentimeter läßt sich erreichen, wenn im Harzansatz die maximale in der Rezeptur angegebene Beschleunigermenge benutzt wird. Einige Minuten nachdem der Ansatz fertiggemischt ist, kann bereits gegossen werden. Die Gußform bringt man dann sofort in das Warmwasserbad (etwa 50 °C). Sobald sich nach der dünnflüssigen Phase die Verdickung einstellt, wird die Gußform entnommen und in der Hand gehalten. Sie kühlt zunächst merklich ab. Kurz darauf beginnt die Harzgelierung (leichtes Schwenken läßt das an der Harzoberfläche erkennen), die man eventuell durch kurzzeitiges Wiederanwärmen im Bad noch fördern kann. Nach Geliereinsatz ist die Temperatur ständig zu kontrollieren, d. h., die Form wird in der Hand gehalten. Bei den ersten Anzeichen zunehmender Erwärmung muß das Kühlwasserbad benutzt und damit die Aufheizung gestoppt werden. Kurz darauf entnimmt man die Gußform dem Kühlbad. Der Temperaturanstieg wird erneut kontrolliert – falls er ausbleibt,

taucht man den Guß kurz in das Warmbad – und kühlt dann sofort wieder. Auf diese Art ist es möglich, die Aushärtung innerhalb etwa 15 Minuten – einschließlich der Topfzeit also in etwa 1 Stunde, gerechnet ab Harzansatz – so weit zu vollenden, daß der Guß jetzt schon vorsichtig entformt werden kann (erst wenn die Wärmeentwicklung restlos abgeklungen ist!). Geschickte Steuerung von Rezeptur, Wärmezufuhr und Wärmeableitung bei der Härtung *ermöglicht also ein sehr zügiges Arbeiten* bis zum fertig entformten Gußblock.
Ähnlich kann man auch mit *Epilox EGK 19* verfahren, jedoch läßt sich der Härtungsvorgang bei diesem Harz nicht so weitgehend forcieren. Da der Amateur es für Eingußzwecke kaum in reiner Form anwenden wird, ist dies unerheblich. Viel mehr Bedeutung dagegen hat eine andere Eigenschaft des EKG 19: Dieses Harz härtet auch unter Wasser aus! Man kann daher Gießlinge, Klebungen u. ä. bei Bedarf sofort nach Verarbeitung, also noch im Flüssigzustand des Harzes, unter Wasser bringen, der Witterung aussetzen u. ä.! Die Härtung geht trotzdem ungestört vor sich, zieht sich jedoch etwas länger hin. (Grundsätzlich lassen sich auch Polyesterharze unter Wasser aushärten, jedoch kann es dabei zu unvollständiger Vernetzung der Harzoberfläche kommen.)
Zur Aushärtung von *Dolacol K* ist zu sagen, daß dieser sehr unproblematisch zu härtende Plast ebenfalls in gewissen Grenzen schnellhärtbar ist. Erforderlich dazu sind

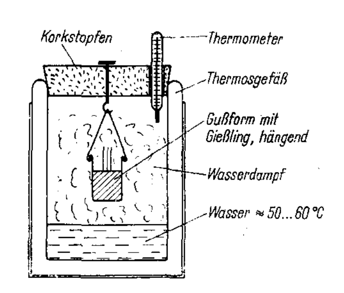


Bild 4
Zur Härtungsbeschleunigung bei Dolacol K

erhöhte Temperatur und möglichst hohe relative Luftfeuchte. Die Schnellhärtung eines Dolacol-K-Gießlings sollte zweckmäßig in einem Thermosgefäß nach Bild 4 erfolgen. Geeignet sind weithalsige Thermos-Essenbehälter, an deren Korkstopfen (ggf. mit Thermometer versehen) man den Gießling einhängt. Das eingefüllte warme Wasser (50 bis 60 °C) sorgt für die notwendigen Härtungsbedingungen, insbesondere für eine nahezu 100prozentige Luftfeuchte. *Dolacol K* härtet bei diesem Verfahren in 2 bis 3 Stunden so weit aus, daß vorsichtig entformt werden kann. Die Härtung erfolgt dabei jedoch von der Oberfläche her, also von dort, wo der Wasserdampf Zutritt hat; im Inneren bleibt der Gießling etwas länger weich.

5.4.3. Der Kontrollguß

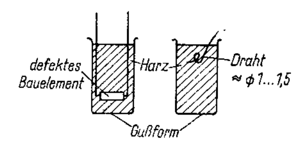
5.4.3.1. Wozu Kontrollguß?

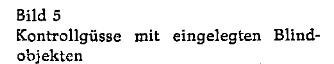
Infolge geringer Unterschiede in der Harzbeschaffenheit, ungenauer Komponentendosierung und Schwankungen der Härtungsbedingungen ist der genaue zeitliche und thermische Verlauf einer Härtung für den Amateur nie ganz exakt vorauszusehen. Es hat sich daher – insbesondere für Polyester-Blockgüsse, Baugruppen u. ä. – als vorteilhaft erwiesen, vor dem eigentlichen Guß (Klebung, Einguß usw.) einen Kontrollguß (Kontrollklebung usw). durchzuführen. Man benutzt dazu einen Harzrest des Ansatzes und führt vor Härtung des eigentlichen Gußblocks die Härtung des Kontrollgusses unter genau gleichen Bedingungen aus. Am Härtungsverlauf des Kontrollgusses und an seiner Beschaffenheit lassen sich die beim eigentlichen Gußblock zu erwartenden Reaktionen und Ergebnisse gut abschätzen. Ferner ermöglicht die spätere mechanische und optische Prüfung gute Rückschlüsse auf die Beschaffenheit des Gußblocks. Am Kontrollguß kann man Bohr- und Sägeversuche vornehmen, die Schlag- und Splitterfestigkeit prüfen o. ä. und auf diese Weise erproben, ob der eigentliche Guß ein-

wandfrei ist, ob er Neigung zum Platzen hat oder sonstige nicht sichtbare Mängel aufweist. Als Gußform für Blockkontrollgüsse benutzt man eine etwa gleiche Form, etwa gleiches Harzvolumen wie bei der zu vergießenden Baugruppe, bei Klebungen sinngemäß ähnliche Kontrollstücke (dem zu klebenden Objekt materialgleiche Werkstoffabfallstücke u. ä.). Für Polyester-G-Kontrollgüsse sind auch Reagenzglasröhrchen gut geeignet.

Bei Baublockkontrollgüssen empfiehlt es sich, etwa das halbe Harzvolumen freizulassen, in der anderen Gußhälfte bettet man entweder ein wertloses oder ein defektes Bauelement bzw. einen starken Draht ein, damit eventuelle Schrumpfungen u. ä. erkannt werden können. Bild 5 gibt dafür eine Skizze.

Beide Güsse werden im übrigen in allen Arbeitsgängen genau gleich behandelt. Man gießt und härtet zunächst den Kontrollguß (Harzansatz inzwischen in Kühlbad, um vorzeitigen Härtungsansatz zu vermeiden!) und erst nach dessen Aushärtung den eigentlichen Gußblock. Bei Polyester-Schnellhärtungen mit hohem Beschleunigerzusatz sind eventuelle Neigung zum thermischen Hochlaufen, Zeitpunkt der rechtzeitigen Kühlung usw. dann schon am Kontrollguß zu erkennen. Leichte Rosafärbung des bereits gelierten Harzes im Kontrollguß, die nach innen hin mitunter sogar in eine eigentümliche Blauviolettfärbung übergeht, zeigt Überhitzung bzw. inneren Wärmestau an. In den so verfärbten Zonen ist das Harz bereits überhitzt, eine innere Spannungsbildung läßt sich dann trotz Wasserkühlung kaum noch verhindern. Beim endgültigen Gußblock darf es also gar nicht erst dazu kommen. Am besten erkennt man diese anfänglich wenig ausgeprägte Färbung




Bild 5
Kontrollgüsse mit eingelegten Blindobjekten

des sonst nahezu farblosen Polyesterharzes, wenn man von oben in den über einen weißen Untergrund gehaltenen Kontrollguß blickt. Voraussetzung ist natürlich ein Glasgefäß. Das im Ansatz noch schwach bräunlichgelbe Polyesterharz wird mit der Gelierung fast farblos und bleibt bei richtiger Aushärtung glasklar bis ganz schwach grünlich-bräunlich. Schnellgehärtetes und überhitztes Harz behält meist eine schwache rosa Färbung.

5.4.3.2. Optische Kontrollen

Am Kontrollguß und an der fertig gegossenen Baugruppe kann man die Harzfärbung sowie eventuelle Schrumpfungsrisse, saubere Einbettung der Bauelemente usw. sofort beurteilen. Kann und will der Amateur den entsprechenden Aufwand treiben, so sind weitere Rückschlüsse durch Beobachtung im ultravioletten („unsichtbaren") Licht möglich. Nahezu alle Plaste haben die Eigenschaft, bei Ultraviolett-(UV-)Bestrahlung in verschiedenen Farben zu fluoreszieren. Bild 6 zeigt die für ein solches Verfahren erforderliche Einrichtung im Prinzip. Notwendig ist ein UV-Strahler (Quecksilberquarzlampe). Derartige Lampen werden komplett mit Filterglaskolben vom VEB Berliner Glühlampenwerk gefertigt (Typenbezeichnung *HQV 125)* und ähneln einer 200-W-Glühlampe mit scheinbar schwarzem Glaskolben. Sie dürfen nur mit zugehöriger Vorschaltdrossel an 220 V ~ betrieben werden (vorgeschriebener Brennstrom 1,15 A). Behelfsmäßig benutzt man einen Vor-

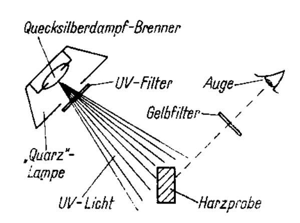


Bild 6
Fluoreszenzuntersuchung der Harzprobe im ultravioletten Licht

widerstand 100 Ω, 150 W (450-W-Plätteisen für 220 V!). Diese Lampen geben fast nur UV-Strahlung ab. Man kann für den Zweck auch eine kleine Tischhöhensonne verwenden, deren sichtbarer Anteil dann jedoch mit einem speziellen UV-Filter (das sichtbares Licht sperrt und den UV-Anteil durchläßt) vollständig abgesperrt werden muß (Lampengehäuse lichtdicht machen!). Solche Filter sind als Bühnenbeleuchtungsbedarf erhältlich und vom Amateur zweckmäßig über die technische Leitung eines Theaters oder einer Bühne zu beschaffen. Das UV-Licht (Bild 6) fällt auf die Harzprobe und regt diese zum Leuchten an. Zur Schonung des Auges und um das vom UV-Filter noch durchgelassene schwache bläuliche Licht zu unterdrücken, betrachtet man die Probe mittels UV-Sperrfilter. Es eignet sich jedes Hellgelbfilter für Fotoapparate. Das reine Fluoreszenzlicht der Probe ist dann praktisch farbgetreu erkennbar. Man kann dabei etwaige Oberflächenfehler, Ungleichmäßigkeiten im Guß usw. erkennen, die mit bloßem Auge nicht sichtbar wären. Schlierenbildung, feine Schrumpfungsrisse u. ä., die die Splitterfestigkeit beeinträchtigen könnten, werden auf diese Weise ebenfalls sichtbar. Außerdem läßt sich durch die Farbe des Fluoreszenzlichtes jederzeit die benutzte Harzsorte feststellen. EGK 19 weist eine blaß-gelbweiße kräftige Fluoreszenz mit deutlichem Einschlag in die natürliche Farbe dieses Harzes auf, Polyester G fluoresziert etwas schwächer mit milchig-grünlichgelbem Farbton usw. Aus der Leuchtkraft kann man auch Rückschlüsse auf die Schichtstärke von Harz- und Plastschichten – etwa in Nähe wandungsnaher Bauelemente im Guß, bei Anstrichen usw. – ziehen, was bei einfachem Betrachten nur unsicher möglich ist.
Wichtiger für den experimentierfreudigen Amateur ist die Beurteilung von Gießharzproben im polarisierten Licht. Zur Erklärung dieses Prinzips zeigt Bild 7 zunächst den Vorgang der Lichtpolarisation. Licht ist bekanntlich eine elektromagnetische Schwingung. Eine normale Lichtquelle strahlt unpolarisiertes Licht aus, in dem Strahlen aller Schwingungsebenen vertreten sind. In Bild 7a ist eine

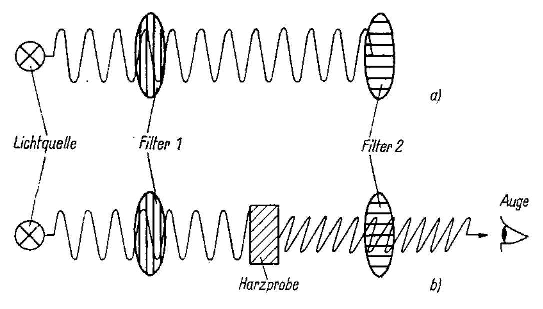


Bild 7 Zum Prinzip der Lichtpolarisation

einzelne Lichtwelle mit senkrechter Schwingungsebene angenommen. Bestimmte Substanzen haben die Eigenschaft, den Lichtdurchtritt nur in einer Schwingungsebene zu ermöglichen, sie wirken gewissermaßen wie ein „optisches Gitter". Ein aus solchen Substanzen hergestelltes Polarisationsfilter – kurz Polfilter – erscheint in der Durchsicht farblos. In Bild 7 a sind zwei solcher Filter angenommen. Die Polarisationsebene des Filters 1 möge senkrecht stehen, d. h., dieses Filter läßt nur Lichtstrahlen mit senkrechter Schwingungsebene durch. Lichtstrahlen anderer Schwingungsebene werden bei Filter 1 gesperrt. Hinter Filter 1 sind daher nur noch Strahlen mit senkrechter Schwingungsebene vorhanden (für das bloße Auge sieht das Licht unverändert aus). Die Polarisationsebene des Polfilters 2 steht waagrecht (also rechtwinklig zu der des ersten Filters) – das senkrecht polarisierte Licht wird also gesperrt: hinter Filter 2 ist kein Licht mehr vorhanden. Drehte man eines der beiden Filter jetzt um 90°, so stimmten beide Ebenen überein, und hinter Filter 2 wäre Licht vorhanden.
Einige Stoffe haben die Eigenschaft, die Polarisationsebene eines durchfallenden Lichtstrahls zu drehen. Hierzu gehören unter bestimmten Voraussetzungen die Gießharze. Bild 7b zeigt, was geschieht, wenn man eine solche Harzprobe mit dem von Filter 1 senkrecht polarisierten Licht durchleuchtet. Innerhalb des Harzes verändert sich die

Schwingungsebene – das Licht trifft mit einer mehr oder weniger der Waagrechten angenäherten Schwingungsebene auf Filter 2, wird demzufolge dort ganz oder teilweise durchgelassen. Blickt man in Bild 7a von rechts auf Filter 2 (also durch beide Filter auf die Lichtquelle), erscheint in Blickrichtung alles dunkel. Anders bei Bild 7b: Das vom Harz „gedrehte" Licht trifft das Auge, man sieht die Harzprobe durch Filter 2 hindurch scheinbar helleuchtend vor dunklem Hintergrund.

Diese Drehung der Polarisationsebene im Harz hängt davon ab, welche mechanischen Kräfte auf das Harz einwirken bzw. im Harz wirksam sind, und außerdem von der Lichtwellenlänge, d. h. von der Lichtfarbe. Benutzt man weißes Licht, so wird (nach Bild 7b) das Auge eine farbige Lichterscheinung im Harz wahrnehmen, in der sämtliche Spektralfarben vertreten sind. Farbbrillanz und Verlauf der farbigen Linien entsprechen – und das ist das Wesentliche dabei – sehr genau dem Kräfteverlauf innerhalb des Harzes. Man kann nach diesem einfachen Verfahren also die für unser Auge nicht sichtbaren mechanischen Spannungen und Kräfte im Harz (sei es durch äußere Einwirkung auf die Harzprobe, sei es durch beim Aushärten oder durch Schrumpfung entstandene innere Spannungen) unmittelbar sichtbar machen! Man kann auf diese Weise, ohne den Guß zerstören zu müssen, feststellen, ob er spannungsfrei ist oder ob er zu Rißbildung oder Platzsprüngen neigt, und wo dies der Fall ist! Im Zusammenhang mit dem erwähnten Kontrollguß, der auf die gleiche Art untersucht werden sollte (zumal er kaum abschattende Bauelemente enthält), kann man also weitgehende Rückschlüsse auf die Gußqualität ziehen. Einige Fotobeispiele (Bild 13 bis 20) verdeutlichen das leider nur unvollkommen, da diese sehr leuchtkräftigen und farbsatten Polarisationsfiguren im Einfarbendruck naturgemäß sehr viel an Details verlieren.

Der Aufbau einer Polarisationseinrichtung ist relativ einfach. Bild 8 stellt ihn im Prinzip dar. Eine normale 100-W-Glühlampe wird in einem verschlossenen Kasten so angeordnet, daß das Licht nur durch das davor angeordnete

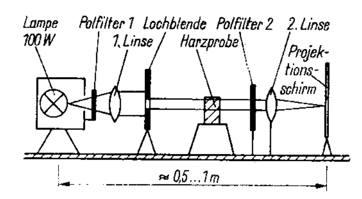


Bild 8 Aufbau der optischen Einrichtung für Polarisationsuntersuchungen an Gießharzen

erste Polfilter austreten kann. Eine Sammellinse (Leselupe o. ä.) konzentriert das Licht auf die Harzprobe; eine Lochblende (Pappblatt mit Öffnung im etwa halben Durchmesser der Linse) deckt störendes Nebenlicht ab. Hinter der durchleuchteten Harzprobe ist das zweite Polfilter angeordnet, direkt daran eine zweite Linse (Leselupe o. ä.), mit der das Polarisationsbild auf einen weißen Pappschirm projiziert wird (günstiger als Direktbetrachtung!). Scharfstellen des Projektionsbildes erfolgt durch Längsverschiebung der zweiten Lupe und des Schirmes. Als improvisierte Ständer für die Einzelteile kann man kleine Holzstäbchen, Korkfüßchen oder, wenn vorhanden, ein Laborstativ (Schulstativ) benutzen. Der Aufwand beschränkt sich also im wesentlichen auf die beiden Polfilter. Es ist für unsere Zwecke nicht erforderlich, auf die im Fotozubehör-Handel erhältlichen kostspieligen Polfilter zurückzugreifen; man beschafft sich lediglich in einem Fotogeschäft eine „Polarisationsbrille", wie sie für Stereolichtbildprojektion benutzt wird. Durch Teilen des Brillengestells – das aus Plast besteht und als Filterfassung beibehalten wird – gewinnt man für etwa 12,– MDN die beiden notwendigen Filter in Form der beiden Brillengläser. Sie müssen bei dem Aufbau nach Bild 8 so angeordnet werden, daß ihre Polarisationsebenen senkrecht zueinander stehen. Das geschieht einfach durch Drehen eines der beiden Filter um seine Achse, bis der Projektionsschirm dunkel ist. Die in den Strahlengang gebrachte Harzprobe erscheint dann farbenprächtig hell vor dunklem Hintergrund. Schon bei leichtem Drücken der

Probe wird die Änderung des inneren Spannungsverlaufs im Projektionsbild deutlich sichtbar (siehe Fotobeispiele).

5.4.3.3. Mechanische Kontrollen

Die mechanischen Kontrollen am Kontrollguß bedürfen keiner näheren Erläuterung. Sie beschränken sich auf Bohr-, Säge-, Polierversuche, Prüfung der Splitterfestigkeit durch Schlag mit stumpfem Hammer, Spalten mit Körnerspitze o. ä. – Bei Kontrollklebungen erkennt man die Klebfestigkeit durch entsprechende Belastungsproben. Dabei sollte insbesondere die Scherfestigkeit geprüft werden. Wie Bild 9 zeigt, sind dazu zwei Probestücke (angenommen sei Verklebung zweier Bleche) so zu verkleben, daß die Klebstelle der Probe bestmöglich der des Originals entspricht. Die Blechkante wölbt man etwas auf, um sie später fassen zu können.

Nach völliger Aushärtung des Probestücks und nach Belastungsprobe entsprechend den Verhältnissen beim Original versucht man, das aufgewölbte Blechende durch kräftigen Zug, wie angedeutet, abzulösen (schälende bzw. scherende Ablösung). Platzt dabei die Klebstelle plötzlich und in einem Stück auf, so ist entweder keine ausreichende Haftung am Untergrund erfolgt (Ursache meist verunreinigte Materialoberfläche!) – die Harzschicht bleibt dann in einem oder in wenigen großen Bruchstücken vorwiegend an einem der Bleche haften –, oder Ansatz bzw. Aushärtung waren nicht einwandfrei und das Harz in sich fehlerhaft (dann zeigt die abgeplatzte Harzschicht meist eine rissige, feinsplittrige Struktur). Bei einwandfreier Klebung läßt sich die Klebstelle nur unter mehr oder weniger großem, bei Metallen ganz erheblichem Kraftaufwand allmählich abschälen.

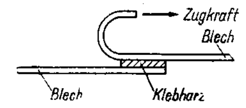


Bild 9
Abschälprobe an einer Gießharzkontrollklebung

5.5. Die Gußform

Bei allen Formgüssen, insbesondere Baugruppenvergüssen u. ä., ist die Gußform von großer Bedeutung. In jedem Fall sind glattwandige Formen erforderlich, da das Gußformproblem im wesentlichen darin besteht, den gehärteten Gießling aus der Form herauszulösen. Für Amateurzwecke kommen vor allem Formen aus Glas, PVC-hart und Metall in Betracht. PVC hat den Vorteil, daß die beschriebenen Harze und Plaste auf ihm nicht haften, der Gießling also nicht leicht mit der Form verkleben kann. Trotzdem sollte auch bei PVC-Formen – die den Nachteil relativ geringer mechanischer und thermischer Stabilität haben – ein Trennmittel benutzt werden. Größe und Gestalt der Gießform richten sich nach dem zu vergießenden Objekt. Der Amateur kann entweder geeignete Formen selbst anfertigen, oder er greift auf Glas-, Metall- oder PVC-Gefäße geeigneter Form zurück (in Spielzeugwarengeschäften findet man eine beachtliche Zahl von geeigneten Artikeln, z. B. Puppenstubengeschirr). Gewöhnlich kann der Amateur, der ja meist nur einzelne Baugruppen fertigt und nicht unbedingt an bestimmte Normgrößen gebunden ist, sich bei der Konstruktion der Baugruppe in Grundfläche und Durchmesser der Form – die ja nicht vollständig ausgegossen werden muß – anpassen und dann auch mit vorgegebenen Formen zu guter Raumausnutzung und geringen Harzvolumen kommen.

Vorzuziehen sind zylindrische, zwecks besserer Entformbarkeit möglichst leicht konische Formen mit runder Grundfläche und möglichst gerundeten Kanten. Für kleinere Baugruppen eignen sich z. B. Reagenzgläser und Tablettenröhrchen (bei denen der meist verengte Rand zuvor mit Glasschneider oder Feile abgebördelt wird). Glasformen haben ferner den Vorteil der Durchsichtigkeit (Beobachtung des Eingusses auf Blasen usw.); außerdem kann man sie bei Entformungsschwierigkeiten nötigenfalls leicht zerstören. Sie werden dann nicht zerschlagen (das könnte der Gießlingoberfläche schaden), sondern vom Rand her

mit dem Seitenschneider vorsichtig abgesplittert bzw. abgehoben. Ähnlich kann man auch mit PVC-Formen verfahren. Am leichtesten entformbar sind Polyester-Gießlinge, da sie meist einige Zehntelmillimeter schrumpfen und danach leicht aus der Form gleiten. Schwerer entformbar ist EGK 19, Gemisch EGK 19/Dolacol G sowie Dolacol K.
Bei den beiden zuletzt genannten Harzen schmiegt sich der elastische Plast so dicht an die Formwandung, daß bei nur einseitig offenen Formen – was die Regel ist – trotz fehlender Klebwirkung ein Herauslösen oft deshalb unmöglich ist, weil dabei unter dem Gießling ein Vakuum entsteht, keine Luft nachströmen kann und der äußere Luftdruck daher Form und Gießling zusammenhält. Bei PVC- und Metallformen kann man das Herauslösen eventuell durch Anbohren des Bodens (Loch für Luftzutritt) bewirken, andernfalls muß die Form zerstört werden. Eine Möglichkeit für den Selbstbau einer zerlegbaren Kastenform „nach Maß" zeigt Bild 10. Man benutzt dazu Glasscheiben geeigneter Größe (Mikroskopobjektträger, Diapositivglasscheiben u. ä.). Auf ein Grundbrett wird eine Glasscheibe als Grundfläche gelegt, besser aufgekittet. Darauf kommt ein Holzklotz in den Abmessungen des späteren Gießlings.

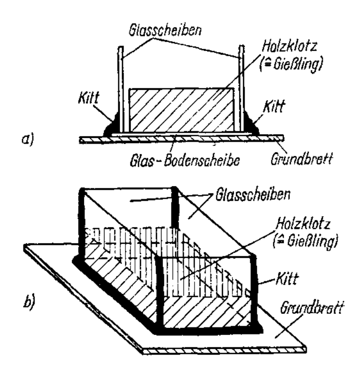


Bild 10 Selbstbau von kastenförmigen Gießformen. Diese Form kann bei Entformung des Gusses bequem zerlegt werden

Nun werden die Seitenscheiben angelegt und sämtliche Fugen gut mit einer geeigneten Kittmasse (Glaserkitt o. ä.) abgedichtet. Der Kitt genügt gleichzeitig zur Halterung der Form. Derartige Formen kann man nach Maß bauen und bei Entformung leicht zerlegen. Sie haben aber den Nachteil, daß sie kaum zu kühlen sind. Diese Formart empfiehlt sich daher vorwiegend für Anwendungen mit *Dolacol K* und *Gemisch EGK 19/Dolacol G*, weniger für reines *EGK 19* und kaum für *Polyester G*.

Falls man für einen Gießling bestimmter geforderter Größe eine etwas zu große Form benutzen muß oder wenn der Gießling spezielle Abmessungen haben soll, die nicht entformbar sind (z. B. Modellgüsse), kann grundsätzlich in zu großer Form gegossen und der Gießling nach Aushärtung mechanisch nachbearbeitet werden. Dabei ist aber insbesondere bei Polyestergüssen zu beachten, daß dieses Verfahren unter Umständen beträchtliches zusätzliches Harzvolumen erfordert, was man beim Aushärtungsvorgang bezüglich Exothermie einberechnen muß. Der Amateur sollte deshalb von vornherein bemüht sein, den Gießling gleich in der endgültigen Form zu gießen. Lediglich bei dem Gemisch *EGK 19/Dolacol G* (1 : 1) ist die mechanische Nachbearbeitung (mit scharfem Messer!) ein bequemes Mittel, zumal bei diesem Harz Exothemie und Gußvolumen unkritisch sind.

5.6. Trennmittel und ihre Bedeutung

Außer auf PVC und einigen artverwandten Plasten haften die hier beschriebenen Harze auf nahezu allen Werkstoffen mehr oder weniger fest. Würde man sie ohne weiteres in die Gießform geben, so wären Formwandung und Gießling nicht mehr zu trennen. Deshalb müssen die Gießformen an allen Stellen, die mit dem Harz in Berührung kommen, lückenlos mit einer dünnen Schicht Trennmittel bedeckt werden. Lediglich bei Verarbeitung von *Dolacol K schwarz* in PVC- und Glasformen kann man auf Trennmit-

tel verzichten. Bei den Harzen erleichtert ein Trennmittel auch bei PVC-Formen – an denen Harz nicht haftet – zumindest die Entformung wesentlich.
Bei der Wahl des Trennmittels ist dessen Schmelzpunkt zu beachten. Bei Eigen- oder äußerer Erwärmung des Gießlings über diesen Schmelzpunkt hinaus läuft das Trennmittel unter Umständen ab; das kann zu Oberflächenfehlern und Lunkerbildung am Gießling, eventuell sogar zum Verkleben mit der Form führen. Das Trennmittel wird in der Form so dünn wie möglich aufgetragen; allein das Vorhandensein, nicht seine Menge ist entscheidend! Zuviel Trennmittel führt zu unsauberer Oberfläche des Gießlings. Farbstoffhaltige Trennmittel (Bohnerwachs) können den Gießling verfärben.
Als „vorschriftsmäßiges" Universaltrennmittel gilt u. a. das *Silikonfett F 4203* vom VEB Chemiewerk, Nünchritz über Riesa. Weitere für alle in dieser Broschüre behandelten Harz- und Plastsorten geeignete Trennmittel sind für den Amateurgebrauch: PVC-Lösung, Vaseline, Bohnerwachs (möglichst farblos) sowie Kerzenwachs. Letzteres wird als Wachs-Tetra-Lösung benutzt und eignet sich besonders gut für Polyester-Gießlinge. Man gibt in etwa 1 cm^3 Tetrachlorkohlenstoff („Tetra"-Reinigungsmittel für Werkstätten) einige von einer Haushaltskerze abgeschabte Wachssplitter, die sich nach wenigen Minuten lösen. Die Lösung muß völlig klar erscheinen. Erscheint sie trüb und hinterläßt ein Tropfen auf der Fingerkuppe nach Verdunstung bereits ein fettiges Gefühl, so ist der Wachsanteil schon unnötig hoch. Mit dieser Lösung spült man die Gußform sorgfältig aus (auf Benetzung sämtlicher Innenflächen achten!) und läßt sie trocknen. Es bleibt dann ein hauchdünner, nahezu unsichtbarer Wachsüberzug zurück. Die in dieser Weise präparierte Form darf innen nicht mehr berührt werden, damit der Überzug unbeschädigt bleibt.
Vaseline oder Bohnerwachs werden entweder hauchdünn eingerieben, oder man benutzt auch für sie geeignete Lösungsmittel und verfährt wie mit der Wachs-Tetra-Lösung.

5.7. Die Arbeitshilfsmittel

Der zum Ansatz und zur Verarbeitung des Harzes benutzte Arbeitsplatz ist auf seiner ganzen Fläche mit Papier abzudecken, das anschließend vernichtet wird, da ein Entfernen von Harzresten von der Unterlage kaum restlos gelingt, verbleibende Reste aber wegen ihrer Ätzwirkung bedenklich sind. Eine Schutzbrille sollte unbedingt getragen werden; Gummihandschuhe sind sehr empfehlenswert. Bereitzustellen sind gegebenenfalls ein Wärmbad, in jedem Fall aber ein Kühlbad (Bild 3), das so groß sein soll, daß notfalls auch das Ansatzgefäß in ihm gekühlt werden kann. Beiderseits der Arbeitsfläche liegen getrennt Putzlappen für Harz, Härter und – auf der anderen Seite – Beschleuniger bereit (vgl. dazu 5.1., 5.2.). Nicht auf dem Arbeitsplatz, aber in griffgünstiger Nähe steht der für das jeweilige Harz notwendige Neutralisator (Salmiakgeist oder Essig, vgl. Abschn. 5.1.) bereit, ebenso Harz- und Komponentenvorratsgefäße. Auf dem Arbeitsplatz befindet sich nur das jeweils benötigte Gefäß. Ferner stehen bereit: Dosierhilfsmittel für die Komponenten (geeignete Waage, Meßgefäß, eine Pipette, möglichst in 1/10 ml geeicht, die man in Chemikalienhandlungen bekommt) sowie Ablagebehälter für gebrauchte Geräte, wie Pipette, Rührstäbe, und zwar getrennt für Harz, Härter und Beschleuniger. Als Ablagebehälter eignen sich Pappschachteln, die später zusammen mit Putzlappen und Papierunterlage vernichtet (verbrannt oder vergraben) werden. Die mit dem Trennmittel präparierten Gießformen für Gießling und Kontrollguß sowie der – zunächst noch nicht in die Form gesetzte – einzugießende Gegenstand, Baugruppe o. ä., stehen bereit, wobei sich für kleine hohe Gießformen geeignete Ständer (im einfachsten Fall z. B. ein leeres Wasserglas für ein Tablettenröhrchen als Gießform) empfehlen.

Als Ansatzgefäß eignet sich am besten ein Glasbehälter (leeres Senf-, Marmeladenglas o. ä.), das nach Gebrauch zu vernichten ist (Behandlung mit Trennmittel zwecks Wiederverwendbarkeit darf beim Ansatzgefäß, das pein-

lich sauber sein muß, keinesfalls erfolgen!). Auch PVC-Ansatzgefäße können benutzt, unter Umständen sogar wiederverwendet werden (nur für die gleiche Harzsorte!). Es ist allerdings darauf zu achten, daß der Ansatz nicht thermisch hochläuft, da sonst das Ansatzgefäß zerfließen kann. Der Ansatz erfolgt, indem zunächst die benötigte Harzmenge eingefüllt wird. Grundsätzlich nie mehr Harz ansetzen, als man benötigt! Da der Amateur meist nur wenige Kubikzentimeter braucht, ergibt sich die Mindestharzmenge für ihn allerdings meist aus der dafür notwendigen, mit seinen Mitteln noch genügend genau dosierbaren Komponentenmenge. Eine einfache kleine Apothekerhandwaage (Taschenwaage) mit Milligrammgewichten ist hinsichtlich sparsamen Harzverbrauchs nicht zu unterschätzen. Meist wird die günstigste Ansatzmenge – je nach Rezeptur und vorhandenen Dosierhilfsmitteln – bei 30 bis 50 cm^3 liegen. Nach genauer Abfüllung der Harzmenge wird zunächst die dafür laut Rezeptur notwendige Härtermenge zugegeben und gut verrührt. Erst danach darf der Beschleuniger zugesetzt werden. Näheres sagen die folgenden Ansatzvorschriften. Grundsätzlich gilt jedoch: Nach jeder Komponentenbeigabe sehr gut und sorgfältig mischen. Hiervon hängt entscheidend die Gußqualität ab. Das gilt besonders für das pastöse Dolacol K, das nach jeder Komponente wenigstens zehn Minuten lang gründlichst zu rühren ist.
Die Dosierung der Komponenten muß bei den Harzen mit einer Genauigkeit von $\pm$ 5 Prozent, bei Dolacol K von $+15 \cdots -5$ Prozent erfolgen – also genau wiegen, nicht schätzen! Zum Verrühren werden für beide Komponenten getrennte Rührstäbe benutzt, was insbesondere beim Polyester G peinlichst zu beachten ist. Mit dem ersten Rührstab gibt man den Härter bei, danach wird dieser Rührstab abgelegt bzw. vernichtet und für die Beschleunigerbeigabe ein anderer benutzt. Da die Rührstäbe vernichtet werden müssen, benutzt man am besten trockene Holzspäne oder Holzstäbchen (Küchenbedarf, Bratspießchen!). Ebenfalls zu verwenden sind Glasstäbe, streng verboten dagegen Metallhilfsmittel. Die unvermischten Komponenten sollen auch

beim Abwiegen nicht mit Metallen und nicht miteinander in Berührung kommen. Waagschalen muß man daher, wenn sie aus Metall bestehen, mit dünnen Glasauflagescheibchen oder mit einem gefalzten Papierblättchen versehen.
Beseitigung zurückbleibender Materialreste und Arbeitshilfsmittel vgl. Abschnitt 5.2.

6. Ansatzvorschriften und Ansatzhinweise

6.1. Polyester G Schkopau

Der Härtungsvorgang kann bei *Polyester G Schkopau* weitgehend durch die Dosierung von Härter und Beschleuniger beeinflußt werden. Härtungsdauer, Topfzeit und Exothermie während der Härtungsprozesse werden außerdem durch die Harztemperatur sehr stark beeinflußt. Es gilt: Höhere Temperatur beschleunigt Reaktionsgeschwindigkeit und Exothermie (vgl. dazu Abschn. 5.3.). Unterhalb Raumtemperaturen von 12 °C kann die Härtung von Schichten, Laminaten u. ä. unmöglich werden. Günstigste Arbeitstemperatur: 20 bis 24 °C.

Komponenten für dieses Harz:

a – Härter (Cyclohexanonperoxid-Paste 50 Prozent in Styrol),

b – Kobalt-Beschleuniger.

Zulässige Dosierung:

Auf 100 Vol.% (Vol.% = Volumeneinheiten, z. B. cm^3) Harz minimal 1 Vol.%, maximal 2,5 Vol.% Härter und minimal 0,5 Vol.%, maximal 3,5 Vol.% Beschleuniger.

Die Härtung wird beschleunigt

a – mit steigendem Härteranteil,

b – mit steigendem Beschleunigeranteil innerhalb der angegebenen Grenzmengen.

Für langsame Härtung und geringe Exothermie empfiehlt sich

1 Vol.% Härter, 1 Vol.% Beschleuniger.

Höherer Härteranteil macht das Harz etwas elastischer; ab 2,5 Vol.% besteht jedoch Gefahr unvollständiger Vernetzung des Härters.

Maximale Mengen beider Komponenten empfehlen sich nur für Gußblockschnellhärtung (Abschnitt 5.4.2.) sowie für Schichten, Anstriche, Laminierungen.

Achtung, bei maximaler Dosierung beträchtliche Exothermie! Ansatzgefäß überwachen!

Dosierungshinweise:

Härterpaste vor Abwiegen gut mit Styrolbedeckung verrühren. Dosierung zweckmäßig mit kleinem 1-ml-Dosierlöffel (Apotheke!) aus Plast oder Glas. Beschleuniger wird mit geeichter Pipette, behelfsmäßig durch Tropfenzählung dosiert: 1 cm^3 Beschleuniger = 20 Tropfen.

Mischansatz:

In Harzmenge die entsprechende Härtermenge eingeben. Gründlich verrühren, bis die zunächst leicht getrübte Mischung vollständig klar durchsichtig ist. Am Gefäßrand dürfen keine Härterreste zurückbleiben! – Rührstabwechsel! – Erst wenn Lösung völlig klar ist, Beschleunigermenge tropfenweise beigeben und *sofort* verrühren. Die violette Lösung verfärbt sich im Harz bräunlich. Rühren, bis in der Durchsicht keine bräunlichen Schlieren mehr erkennbar sind. Oberfläche gut verrühren, da der unvermischte Beschleuniger zum Absetzen an Oberfläche neigt. Dann ist der Ansatz gießfertig.

Beispiel für einen erprobten Ansatz für Baugruppeneinguß mit Schnellhärtung

Mischansatz: 50 cm^3 Harz, 2 Vol.% = 1 cm^3 Härter, 2 Vol.% = 1 cm^3 = 20 Tropfen Beschleuniger. Gesamtvolumen der fertig vergossenen Baugruppe: 7,5 cm^3, freies Harzvolumen dieser Baugruppe: 2,5 cm^3, Harzvolumen des Kontrollgusses: 3,5 cm^3.

Topfzeit des Ansatzes (Härtungsverlauf beim Versuchsmuster):

20 Minuten bei Harztemperatur 24 °C. Nach dieser Zeit erfolgte Härtungseinleitung im Warmwasserbad bei 60 °C. Geliereinsatz 2 Minuten nach Badbeginn. Ab Geliereinsatz Wasserbadkühlung 20 °C. Der Gießling wurde 30 Minuten nach Gelierbeginn entformt, Zustand etwa lederhart. Gießform: Glasröhrchen zylindrisch 20 mm Durchmesser, Trennmittel: Wachs-Tetra-Lösung.

Es empfiehlt sich, falls eine derart beschleunigte Härtung nicht erforderlich ist, die Beschleunigermenge zu verrin-

gern (etwa 1,5 Vol.%) und auf ein Wärmbad zu verzichten. Die Gießform wird dann sofort nach Verguß in ein ausreichend großes Wasserbad (etwa 22 bis 25 °C) gestellt und verbleibt dort bis zur Aushärtung (etwa 24 Stunden). Bei größeren Gußvolumen kann die Beschleunigermenge weiter verringert werden.
Bei zögernd einsetzender Gelierung – wenn z. B. 12 bis 15 Stunden nach Vergießen kein Geliereinsatz feststellbar ist – kann die Reaktion stets durch Erwärmen erzwungen werden. Sicherer bezüglich exothermer Selbsterwärmung ist dann geringes Erwärmen über längere Zeit oder Erwärmen auf 40 bis 50 °C für kurze Zeit und Wiederabkühlung noch vor Reaktionsbeginn. Bei Schichten, Laminaten usw. ist ständige Wärme um 30 °C günstig.

6.2. Epilox EGK 19

6.2.1. EGK 19 als Gießharz

Steuerung der Härtung ist bei diesem Harz nur durch Temperatursteuerung möglich. Zum EGK 19 wird lediglich eine Komponente („Härter Nr. 3" für Epilox) benutzt. Beschleuniger entfällt. Die Härtermenge ist fest vorgegeben (auf 100 Vol.% EGK 19 kommen 11 Vol.% ± 0,5 Vol.% Härter Nr. 3).
Der Härter wird dem Harz zugesetzt (1 cm^3 Härter = etwa 13 Tropfen) und gut verrührt. Die Topfzeit hängt von der Harztemperatur ab. Anhaltswerte: 20 °C ≈ 2 Stunden, 0 °C ≈ 15 Stunden. Die exotherme Reaktion beim EGK 19 ist ausgeprägt. Es empfiehlt sich Kühlbad für den Ansatz. Die Mischungstemperatur soll über 30 °C gehalten werden. Bei Temperaturen unter 30 °C kann der Gießling Blasen, beträchtlichen Schwund, sogar Spannungsrisse aufweisen. Abweichungen in der Härterdosierung nach geringerer Menge hin führt zu sprödem, ungleichmäßig gehärtetem Gießling geringer Festigkeit, nach höherer Menge hin zu etwas besserer Elastizität; das Harz behält jedoch dann wegen un-

vollständiger Vernetzung des Härters geringfügig hautreizende Eigenschaften und neigt während der Härtung zu schwer beherrschbarer Wärmeentwicklung. Für Schnellhärtung ist EGK 19 wenig geeignet. Exothermie setzt noch im Flüssigstadium ein!

6.2.2. EGK 19 als Klebharz und Laminierharz

Mischansatz erfolgt wie unter 6.2.1. – Zu klebende Metallteile sollen vorher aufgerauht oder sandgestrahlt werden. Die zu klebenden Flächen sind mittels Tetrachlorkohlenstoff („Tetra") oder Trichloräthylen („Tri") sorgfältig zu entfetten und die Harzmischung mittels Pinsel oder Spachtel beidseitig aufzutragen. Dann wird sofort überlappt und unter Druck (Klemmvorrichtung, Schraubzwinge, Gewichtauflage o. ä.) etwa 12 Stunden bei Raumtemperatur oder 2 Stunden bei 40 bis 45 °C gehärtet. Vorteilhaft ist es, die zu klebenden Flächen zuvor möglichst warm (bis 100 °C zulässig) zu halten, um die Aushärtung zu beschleunigen. Nach der angegebenen Zeit kann die Klemmvorrichtung entfernt werden. Maximale Festigkeit erreicht die Klebung nach einigen Tagen. Stärke der Klebschicht bei reinem EGK 19: 0,05 mm bis maximal 0,15 mm; bei Füllung des Harzes mit Metallpulver (Abschn. 4.4.1.) 0,5 mm bis maximal 2 mm. EGK-19-Klebungen können mit reichlich Azeton (Vorsicht, sehr feuergefährlich, Dämpfe explosiv!) oder durch Erhitzen gelöst werden.

6.3. Elastikkombinationen mit EGK 19/Dolacol G

Zunächst erfolgt Mischung des EGK 19 mit der vorgesehenen Menge Dolacol G. Sorgfältig verrühren! Die Mischung wird zunächst leicht grünlichbraun und nimmt kurz darauf wieder die Farbe des reinen EGK 19 an. Erst danach wird der Epilox-Härter 3 zugesetzt! Bemessung des Härters richtet sich ausschließlich nach der EGK-19-Menge, unabhängig

von der Menge des zugesetzten Dolacol G. Auf 100 Vol.% EGK 19 wird beigegeben 11 ± 0,5 Vol.% Härter 3. Nach Härterzusatz sofort gut verrühren!
Exothermie setzt kurz nach Härterbeigabe ein, wobei die Mischung eine dünnflüssige Phase durchläuft. Die Exothermie ist etwas geringer als beim reinen Harzansatz. Bis zu Mischvolumen um 10 bis 15 cm^3 des fertigen Ansatzes kann Kühlung entfallen, bei größeren Ansatzmengen wird das Ansatzgefäß im Wasserbad gekühlt. Die Härtung setzt erst nach beendeter Wärmeentwicklung und Abkühlung des Gemisches ein. Danach wird das Gemisch verarbeitet, so daß für den Gießling besondere Kühlmaßnahmen entfallen und auch größere Volumen vergossen werden können. Dies gilt für Gemisch EGK 19/Dolacol G = 1 : 1. Mit geringer werdendem Dolacol-Anteil nähern sich Härtungsverlauf und Eigenschaften zunehmend dem des reinen EGK 19. Praktisch verwertbare Mischungen (EGK 19 : Dolacol G) zwischen 10 : 1 bis 1 : 1. Die Haftung auf Metallen wird schon bei geringen Dolacol-G-Zusätzen wesentlich geringer. Haftung auf Polyester-G-Gießlingoberflächen gut bis ausreichend. Der Härtungsverlauf (dünnflüssig – zäh – klebrig – fadenziehend – gummiartig) entspricht weitgehend dem des reinen EGK 19. Härtung bei Raumtemperatur binnen 24 bis 48 Stunden bis zur Formbeständigkeit; maximale Festigkeit nach etwa acht Tagen. Schrumpfung tritt nur in geringem Maße ein.

Anhaltswerte für Eigenschaften des Endprodukts beim Mischverhältnis (EGK 19 : Dolacol G):

1 : 1 = gummiartig-elastisch, mit Messer schneidbar, Reißfestigkeit mittelmäßig, Formbeständigkeit gut. Haftung auf anderen Stoffen, insbesondere Metall, sehr gering (abschälbar!). Gut geeignet für Baugruppeneinschlüsse, die wieder geöffnet werden sollen, sowie für stark federnde Ummantelung von Bauelementen u. ä., Dichtungen usw.; elektrisch nichtleitend.

2 : 1 = hartelastisch, schwach biegbar (ähnlich PVC-hart). Mit 1,5 : 1 bis 2 : 1 geeignet für Ummantelung von

Polyester-Gußblöcken zwecks Erhöhung der Schlag- und Fallsicherheit sowie zum Schutz herausgeführter Anschlüsse gegen Ausbrechen aus dem Harz und ähnliches.

10 : 1 = Eigenschaften weitgehend dem Rein-Epilox ähnlich, jedoch splitterfest. Produkt entspricht elastifiziertem EGK 19, ist jedoch nicht für Klebharzanwendung geeignet; dagegen als Splitterschutz für alle Anwendungsbereiche des Rein-EGK 19 als Gieß- und Anstrichharz.

6.4. Der Thioplast Dolacol K „schwarz"

Mischansatz: Auf 100 Gewichtsteile Dolacol K werden zunächst 16 Gewichtsteile Härter zugegeben (Bodensatz im Härtergefäß zuvor gut umrühren!) und sorgfältig vermischt. Dann setzt man 0,7 Gewichtsteile Beschleuniger zu. Geringfügig erhöhter Beschleunigeranteil (nach neuester Werksangabe bis $\approx$ 4 Gewichtsteile) bleibt ohne Auswirkung.

Die Topfzeit beträgt einige Stunden. Die Härtung beginnt allmählich mit zunehmender Zähigkeit der Masse und ist nicht exotherm. Aushärtung bis zur Formbeständigkeit nach etwa 48 Stunden bei Raumtemperatur. Höhere Temperaturen und hohe Luftfeuchtigkeit begünstigen die Aushärtung (vgl. 5.4.2.).

Haftung des Endprodukts auf Polyester-G-Oberfläche: ausreichend (bedingt abschälbar). Haftung auf blanken Metalloberflächen gering, verhältnismäßig leicht abschälbar. Für Dolacol-K/Metallverklebungen empfiehlt sich Haftgrundierung. Man rauht die entfettete Metallfläche nach Möglichkeit auf und bringt einen möglichst dünnen Anstrich von gemäß 6.3. angesetztem EGK 19/Dolacol-G-Gemisch (2,5 bis 3 : 1) auf. Nach dessen Aushärtung kann Dolacol K mit guter Haftwirkung aufgebracht werden.

Ansatzgefäße und Arbeitshilfsmittel des Dolacol-K-Ansatzes können nach Reinigung wieder benutzt werden, da sich das ausgehärtete Dolacol K von Glas-, Porzellan- und PVC-

Oberflächen leicht abziehen bzw. abschälen läßt. Dolacol K und seine Komponenten sind fast ungiftig und chemisch wenig aggressiv.

6.5. Hinweise für den Formguß mit Polyester G und Epilox EGK 19

Das Eingießen von Baugruppen erfordert einen blasenfreien Guß. Außerdem ist darauf zu achten, daß die Bauelemente während des Gusses oder bei der Aushärtung in der Form ihre Lage nicht verändern. Liegen einzelne Bauelemente an der Formwand an, so kann das zu Wandungsfehlern des Gießlings (offenen Stellen) führen. Zweckmäßig wird *vor Einbringen des Trennmittels* die Baugruppe probeweise in die Form eingesetzt und ihre spätere Lage im Einguß überprüft und festgelegt. Die Baugruppe kann dazu mit Klemmvorrichtung (Stativ o. ä.) gehalten werden, was aber das Hantieren mit der Form – bei notwendiger Kühlung o. ä. – erschwert. Man legt besser die Baugruppe am Formrand fest, was bei Drahtanschlüssen durch Umbiegen der Drähte über den Rand geschieht. Die auf diese Art vorbereitete Baugruppe wird herausgenommen, dann präpariert man die Form mit dem Trennmittel und gibt zunächst die Hälfte des insgesamt benötigten Harzes in die Form.

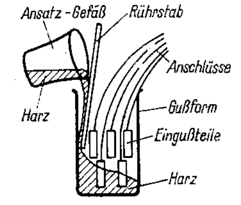


Bild 11
So wird die Gußform blasenfrei gefüllt

Nunmehr wird die Baugruppe in das Harz getaucht. Das an der Wandung aufsteigende Harz verhindert dabei eine Lunkerbildung und gewährleistet selbst bei sehr wandnahen Bauteilen noch eine dünne, zur Abdichtung ausreichende Harzschicht. Anschließend gießt man das zur vollständigen Bedeckung notwendige restliche Harz blasenfrei ein, indem man es langsam über Rührstab und Formwandung ablaufen läßt (Bild 11). Vom restlichen Harzgemisch wird anschließend der Kontrollguß in die dafür vorbereitete Form abgefüllt. Falls Schnellhärtung mit Wärmbad erfolgt, ist zuerst der Kontrollguß zu behandeln.

7. Anwendungsbeispiele

7.1. Baugruppengußblöcke mit Polyester G

7.1.1. Die zweckmäßige Konstruktion der Baugruppe

Schon bei der Schaltungsdimensionierung ist zu berücksichtigen, ob man Gießharz verwenden will. Innerhalb des Harzblocks sind wegen dessen schlechter Wärmeleitfähigkeit ungünstige Kühlbedingungen gegeben – und es muß stets bedacht werden, daß der einmal gehärtete Gußblock nicht wieder zerlegbar ist, daß also z. B. der Ausfall eines Widerstands die ganze Baugruppe wertlos macht. Deshalb sollen Widerstandsbelastungen niemals voll ausgenutzt werden (d. h., es dürfte angebracht sein, einen Typ einzusetzen, der höher belastbar ist, als laut Betriebswerten der Baugruppe erforderlich); für andere Bauteile, insbesondere Transistoren gilt, das gleiche. Man muß auch an die Herausführung aller notwendigen Anschlußpunkte denken, und zwar nicht nur für den vorgesehenen Anwendungsfall, sondern auch für andere, später eventuell in Frage kommende Anwendungen, sowie an die Meßpunkte, über die die Baugruppenfunktion geprüft werden kann. Das letzte ist allerdings nur sinnvoll, soweit erforderlich zur Funktionskontrolle des Gesamtblocks – nicht seiner einzelnen Stufen, denn diese lassen sich ja ohnehin nicht mehr reparieren. Falls derart herausgeführte Meßpunkte Anlaß zu Störungen (Kriechströme durch äußere Feuchtigkeit o. ä.) geben, kann man sie dicht unter die Harzoberfläche legen, wo sie im Bedarfsfall durch Anfeilen des Gußblocks erreichbar sind. So sollten z. B. bei mehrstufigen NF-Verstärkern nicht nur die Ankoppelkondensatoranschlüsse, sondern auch Kollektor- und Basisanschlüsse gleichstrommäßig von außen zugänglich sein. Ein Beispiel für eine solche sehr vielseitig verwendbare, mehrstufige Baugruppe

wurde im „Elektronikbastelbuch" des Verfassers veröffentlicht. – Daß die vorgesehene Schaltung zunächst als Versuchsschaltung gründlich erprobt und in allen Teilen genau kontrolliert wird, ist selbstverständlich. Die endgültige Bauform der zu vergießenden Schaltungsgruppe legt man im Zusammenhang mit der gewählten Form, ihrem Volumen und ihren Maßen fest (vgl. dazu Abschnitt 5.3.2. und Bild 2).

Anzustreben ist in jedem Fall ein möglichst kompaktes „Schachteln" der Bauelemente. Die notwendige mechanische Versteifung ergibt sich meist durch die Verdrahtung weitgehend von selbst. Gegen Kurzschlüsse schützen kleine eingelegte Isolierfolienstückchen, während der Montage mit einem Tröpfchen Duosan oder Lack fixiert. Ebenso oder mit einem schmalen Klebebandstreifchen kann man Bauelementegruppen festlegen, die verdrahtungsmäßig nicht „zusammenhängen". Diese Maßnahmen bezwecken lediglich eine Fixierung bis zum Verguß, danach legt das Harz alle Bauelemente unverrückbar fest. Besonders aufwendige oder gar platzraubende Maßnahmen zur Befestigung der Bauelemente sind also nicht sinnvoll. Die Frage, wie weit sind kleine Grundplatten, eventuell gedruckte Leiterplatten, Lötstützpunkte u. ä. angebracht, ist damit bereits geklärt: Sie haben dann einen Sinn – und nur dann –, wenn Gußvolumen, Formgröße, thermische Verhältnisse beim Aushärten es zulassen, wenn keine Notwendigkeit zu maximaler Bauelementedichte besteht und äußerliche Gründe (Aussehen, Verwendung vorhandener Baugruppen o. ä.) dafür sprechen. Dagegen erweist es sich oftmals als sinnvoll, wenn der Amateur die Baugruppe gewissermaßen „in der Gießform verdrahtet", weil sich dabei die günstigste Gruppierung aller Bauelemente am sichersten finden läßt.

Ausgangspunkt ist also die Schaltung (erprobt mit den für den Einguß vorgesehenen Bauelementen);
der zweite Schritt ist die Form,
der dritte erst der Bau der endgültigen Baugruppe!

Weitgehend bestimmt wird die Bauform, die man wählt, auch von den gewünschten Anschlüssen, von ihrer Art und

Anzahl. Lötanschlüsse führt man als blanke Schaltdrähte heraus (meist unmittelbar die Anschlußfahnen der betreffenden Bauelemente). Falls bei häufiger Benutzung trotz Lötanschlüssen ein Abbrechen zu befürchten ist, führt man sie als kleine, zunächst freitragende einzelne Lötösen heraus, deren untere, mit dem Bauelement verbundene Hälfte nach Verguß im Harz sitzt und von diesem gehalten wird. Zweckmäßiger für Vielzweckbaugruppen ohne festen Einsatzort ist jedoch die Steckverbindung. Hier kommt man dann entweder zu dem bekannten Bausteinprinzip der „Amateurelektronikserie*), oder man wählt als Steckanschluß und „Fundament" für eine zylindrische, gut für Polyester-Guß geeignete Baugruppe einen normalen neunpoligen Röhrenfuß. Er dient gleichzeitig als völlig ausreichende Stützplatte für die Verdrahtung, die dann „kopfstehend" in der Gießform plaziert und bis zur Oberkante des Röhrenfußes eingegossen wird. Beispiele dafür folgen in Abschnitt 7.1.5.
Für fest einzulötende Gießharzbaugruppen empfiehlt es sich, einen kleinen Stützwinkel, einfacher noch eine M-3-Schraube zur Hälfte mit einzugießen. Ihr herausragendes Ende kann dann zur Befestigung der Baugruppe dienen. Dabei ist anzuraten, den zu vergießenden Teil (Schraubenkopf) mit Tetra zu entfetten und die freibleibende Gewindehälfte – nur diese! – mit Vaseline oder einem anderen Trennmittel zu präparieren, so daß beim Vergießen etwa auftreffende Harzreste sich später ablösen lassen.

7.1.2. Die elektrische Funktionsprüfung der Baugruppe vor dem Verguß

Die vergußfertig montierte Baugruppe wird nochmals gründlich geprüft, wobei man, falls erforderlich, Arbeits-

* Näheres darüber in Heft 41 dieser Reihe, Schlenzig, *Bausteintechnik für den Amateur;* die Originalbausteine eignen sich übrigens sehr gut für Eingüsse insbesondere in EGK 19/Dolacol-G-Elastikmischungen, bei Vorhandensein geeigneter Formen auch für Polyester-Verguß.

punkte von Transistoren, Spannungswerte an den einzelnen Schaltungspunkten und sonstige Betriebswerte mißt und die Meßwerte notiert. Es empfiehlt sich, die Baugruppe nun einige Tage unter den vorgesehenen Arbeitsbedingungen in Dauerbetrieb zu nehmen, um bezüglich Bauelementeausfällen sicherzugehen. Dabei sollte auch eine Änderung der Umgebungstemperatur innerhalb des später bei der Anwendung maximal zu erwartenden Bereichs nicht vergessen werden. Sorgfältige Kontrolle sämtlicher Lötstellen vor dem Eingießen ist selbstverständlich. Erst wenn die Baugruppe im unvergossenen Zustand eine gründliche Betriebserprobung ohne jede Beanstandung überstanden hat, kann sie vergossen werden.

7.1.3. Die Endprüfung der Baugruppe nach Aushärtung

Die Endprüfung beginnt mit der optischen Beurteilung von Kontrollguß und Baugruppe sowie mit eventuellen mechanischen Prüfungen am Kontrollguß (diese sollte man frühestens acht Tage nach der Entformung vornehmen). Die Baugruppe selbst kann bereits wenige Stunden nach beendeter Aushärtung elektrisch geprüft werden. Diese Prüfung gleicht der im vorigen Abschnitt beschriebenen, wobei man alle jetzt gewonnenen Meßwerte mit den vor Einguß notierten vergleicht (auf gleiche Umgebungstemperatur bei beiden Prüfungen achten, insbesondere bei Halbleitern!).
An dieser Stelle ist einiges zur optischen Prüfung des Kontrollgusses zu sagen. Bild 12 zeigt – neben den unter 7.10. beschriebenen Beispielen für Lichtleitschlauch und splittersicheres Glas – eine Anzahl von Kontrollgüssen. Oben ist ein scheibenförmiger, etwa 10 mm dicker Kontrollguß (Ansatzrest aus trinkbechergroßem Glasansatzgefäß) gezeigt, daneben ein gleich großer, jedoch durch zu hohe Härtungstemperatur (exotherme Wärmebildung ohne Kühlung des Ansatzgefäßes) zersprungener Gießling, beide Polyester G. Typisch für dieses Harz sind die relativ geradlinig geplatzten, großen Bruchstücke. Darunter sieht man in Bildmitte



Bild 12 Verschiedene Gießharzkontrollgüsse (Mitte und oben), splittersicheres Glas (unten), Lichtleitschlauch (links)

vier weitere Polyester-Kontrollgüsse in Größe der zugleich mit ihnen vergossenen Baugruppen, und zwar von links: Gußform Tablettenröhrchen, im Gießling eingelegt ein starker Draht (vgl. Bild 5), daneben desgleichen mit eingelegtem Widerstand (die Anschlußdrähte ragen heraus), eine kleinere, im Reagenzglas gegossene Probe sowie eine scheibenförmige Probe. Diese Gießlinge kann man gemäß Abschnitt 5.4.3.2. im polarisierten Licht untersuchen. Die folgenden Bilder bieten leider wegen der fehlenden Farbschattierungen ein weit undeutlicheres Polarisationsbild, als es in der Praxis zu beobachten ist.
Bild 13 zeigt ein Polarisationsbild des Kontrollgusses aus Bild 12 Mitte mit eingelegtem Widerstand. Für diese und

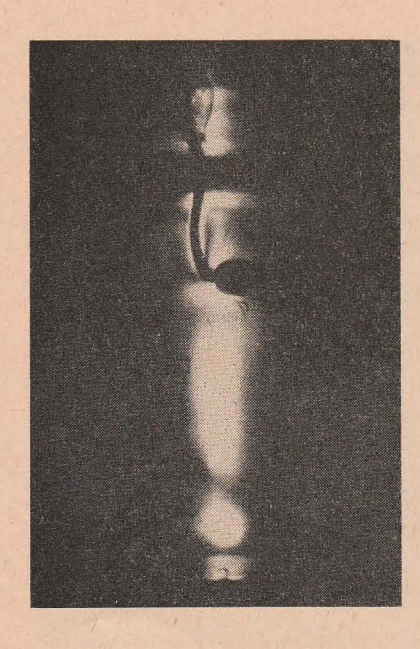


Bild 13
Polarisationsfoto eines nicht ganz spannungsfreien Gießharzkontrollgusses

die folgenden Aufnahmen trat in Bild 8 die Kamera an die Stelle von zweiter Linse und Projektionsschirm. Als Schattenriß erkennt man deutlich die linke Widerstandskappe mit Anschlußdraht. Um diesen Draht – beim Knick in Kappennähe – haben sich mechanische Spannungen ausgebildet, erkennbar durch die von der Drahtbiegung ausgehenden Schattenlinien (die in Wirklichkeit regenbogenfarbiges Aussehen haben). Weiter oben sieht man einen kräftigen Querschatten; und eine ähnliche Schattenzone (auch diese wieder im Aussehen eines Regenbogens) unten im freien Harzraum. Die insgesamt ungleichmäßige Lichtstruktur läßt erkennen, daß dieser Kontrollguß nicht spannungsfrei ist: Tatsächlich wurde er schnellgehärtet und erreichte dabei eine unzulässig hohe Temperatur. Die zugehörige Baugruppe mußte also vorsichtiger gehärtet werden. Ein spannungsfreier Gießling ohne Einschlüsse weist über die ganze

Länge eine gleichmäßige Lichtverteilung auf ohne unregelmäßige Farb- (im Foto Schatten-)Zonen. Bild 14 zeigt den Gießling mit eingelegtem starkem Draht (aus Bild 12) diesmal in axialer Durchleuchtung (Sicht auf Bodenfläche). Auch dieser Gießling wurde zu schnell ausgehärtet und blieb daher nicht spannungsfrei. Die in Bild 14 nach rechts oben weisende, libellenflügelförmige Schattenzone ist das Abbild des eingelegten Drahtes, an dessen Rändern wiederum typische Spannungslinien erkennbar sind. – Bild 15a bis d zeigt den Kontrollguß in Scheibenform (etwa 10 mm stark) aus Bild 12 Mitte rechts. Die Halterung bei Bild 15a erfolgte zunächst mechanisch spannungsfrei. Dieser Guß ist einwandfrei, die leicht wellige Oberflächenstruktur rührt von Unebenheiten des Bodens der dafür benutzten PVC-Gießform (Flaschenverschlußkappe) her, die sich der Harzoberfläche einprägten. Sehr gut erkennen kann man das für spannungsfreie zylindrische, axial durchleuchtete Proben typische Schatten-„Achsenkreuz". Wird eine solche Probe von außen her mechanisch belastet, und zwar durch Zusammendrücken der Räder im Sinne elliptischer Verformung, so läßt die Veränderung dieses Schattenkreuzes deutlich werden, in welcher Weise der Harzkörper diese

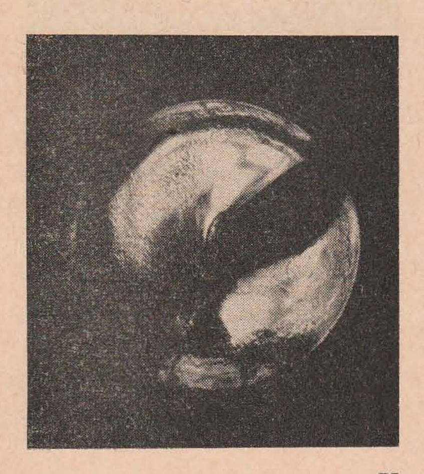


Bild 14
Axial durchleuchteter zylindrischer Kontrollguß (Polarisationsaufnahme)

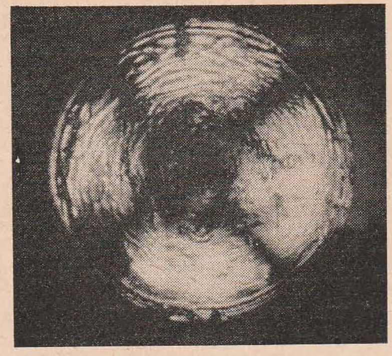


Bild 15
Polarisationsbild einer scheibenförmigen Polyester-Gießharzprobe

a – spannungsfrei, ohne äußere Einwirkung



b – die gleiche Probe bei senkrechtem Druck auf den Rand



c – desgleichen bei zunehmender Druckkraft



Bild 15 d
– wie c bei weiter gesteigerter Druckkraft

äußere Kräfteeinwirkung auffängt. Bild 15b zeigt die gleiche Probe bei mäßigem, senkrecht wirkendem Randdruck, Bild 15c und 15d bei stärker werdendem Randdruck. In Bild 15d ist der obere halbkreisförmige Schatten nahezu verschwunden, der untere noch rechtsseitig erhalten. Er geht bei zunehmend schärferer Begrenzung von einem unterhalb der Mitte der Probe vorhandenen Einschluß (kleine Luftblase) aus. Bei weiter erhöhtem Druck kann angenommen werden, daß die Scheibe – ausgehend von dieser Luftblase längs des unteren Halbschattens – ausplatzen wird. Bei normaler Betrachtung der Probe wäre diese Voraussage nicht möglich.
In Bild 12 ist unten links die rechteckige Probe eines Elastikgemisches Dolacol G/EGK 19 (1 : 1) zu sehen. Dieses Material hat die interessante Eigenschaft, die Polarisationsebene des Lichtes bei fehlender äußerer und innerer Belastung nicht zu drehen; es erscheint im polarisierten Durchlicht dunkel. Bereits bei geringster äußerer Belastung kann man aber bei diesem recht nachgiebigen Material sofort die bekannten Polarisationsbilder beobachten. Bild 16 zeigt ein Beispiel. Die Probe (Bild 12) wurde mit einer Wäscheklammer gefaßt. Bereits deren Druck ergibt rund um die – in Bild 16 von oben hereinragende – Klammerbacke kreisförmige Schattenringe (zwischen

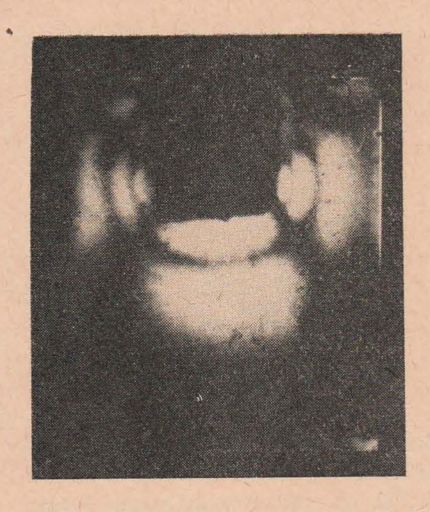


Bild 16
Polarisationsbild einer mit Wäscheklammer (oben) gedrückten Elastikprobe (EGK 19/Dolacol G 1 : 1)

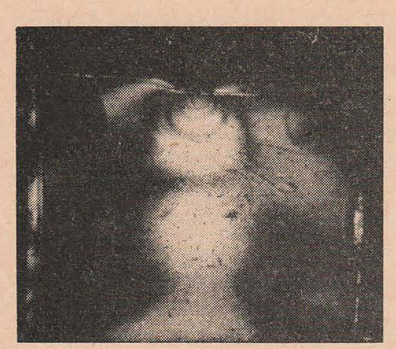


Bild 17
Die gleiche Probe bei Druck auf den Rand (oben) mit spitzem Gegenstand

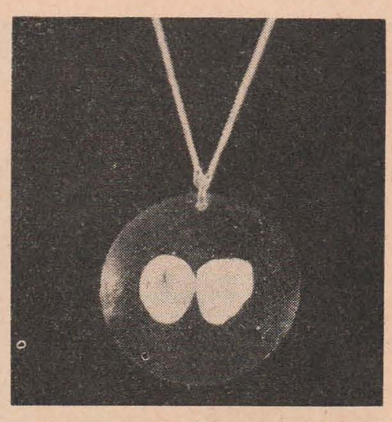


Bild 18 Schmuckanhänger aus Polyesterharz mit eingebetteten Muschelschalen

denen in den Hellzonen wiederum das gesamte Farbspektrum sichtbar wird) und die nach den Randzonen verlaufenden Spannungslinien. Noch deutlicher ist diese Erscheinung zu sehen, wenn auf die Schmalseite der etwa 6 mm dicken Probe eine Nagelspitze mit leichtem Druck aufgesetzt wird (Bild 17). Der Nagel selbst ist gegen den (wegen der gekreuzt eingestellten Polfilter dunklen) Hintergrund nicht zu sehen. Von seiner Spitze (im Bild oben) gehen die deutlich erkennbaren Spannungslinien ringförmig aus. Ihre Form und ihr Abstand voneinander lassen erkennen, daß die Verformung bzw. Krafteinwirkung in Nähe der Druckstelle am größten ist, nach unten hin abnimmt, daß aber die Druckkraft auf nahezu das ganze Gefüge dieser Plastprobe rückwirkt, wie die weiten, aufgehellten Flächen beweisen. Die Unterkante der Probe stand bei diesem Versuch auf einer ebenen Auflagefläche. Das in Bild 18 gezeigte Schmuckstück (hergestellt aus zwei kleinen in Polyester G eingegossenen Muschelschalen – als Gießform diente ein Uhrglas) ergibt ebenfalls aufschlußreiche Polarisationsbilder. Bild 19 stellt den Anhänger im entspannten Zustand dar; das Achsenkreuz ist

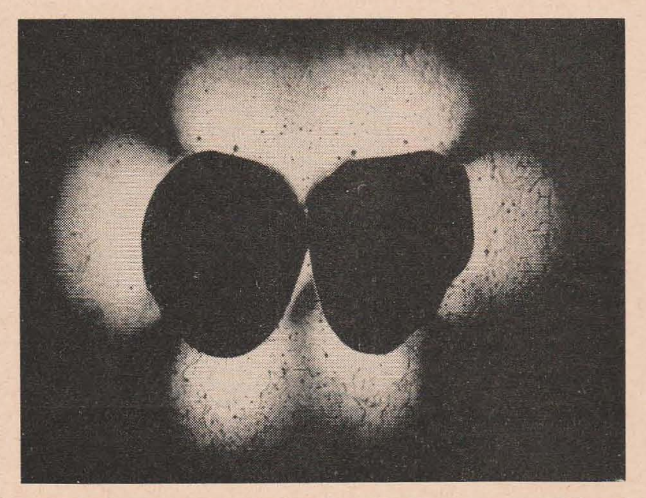


Bild 19 Polarisationsbild des Anhängers von Bild 18 in entspanntem Zustand

wieder gut sichtbar. Durch geringfügige Harzschrumpfung kam es zwischen den Muscheln in Bildmitte unten zu einer geringen inneren Spannung (Schattenfleck mit schwachem, zum unteren Rand laufendem Schatten). Wird diese Harzscheibe mit Randdruck im Sinne elliptischer Verformung belastet – dazu genügte bereits der Druck zwischen zwei Fingern –, so kommt es, wie Bild 20 zeigt, einmal zu einer 45°-Drehung des Achsenkreuzes und zur Aufteilung einer der Polarisationsachsen auf beide Muscheln; zum anderen erscheint zwischen den Muscheln eine zusätzliche, relativ scharf begrenzte Spannungslinie. Bei wesentlich verstärktem Druck würde der Anhänger längs dieser Spannungslinie zwischen den Muscheln auseinanderbrechen. Die von den Muschelrändern ausgehenden Schattenzonen zeigen die Stellen, wo der Druck am stärksten wirkt und wo – nächst der Mittellinie – also ebenfalls erhöhte Bruchgefahr besteht.

Die Bilder lassen deutlich erkennen, daß man nach die-

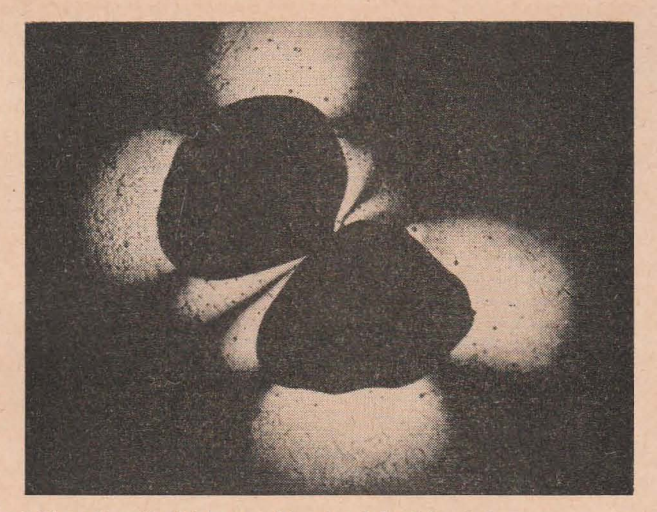


Bild 20 Derselbe Anhänger bei Druck auf die Seitenränder

sem Verfahren tatsächlich bruchgefährdete Zonen im Gießling leicht erkennen und ihr Vorhandensein bei Benutzung des Gießlings berücksichtigen kann. Sie wurden auch deshalb trotz der im Schwarzweißbild fehlenden farbigen Details wiedergegeben, weil sie geeignet sind, dem Amateur Eigenschaften und Verhalten des Gießharzes bei ähnlichen Anwendungen zu verdeutlichen.

7.1.4. Umgang mit Gießharzbaugruppen

Bei der Handhabung der an sich äußerst robusten und widerstandsfähigen Gießharzbaugruppen sind trotzdem in mechanischer Hinsicht einige Vorsichtsmaßregeln zu beachten. Zwar schaden Stürze aus einigen Metern Höhe solchen Baugruppen kaum etwas, solange es nicht bei hartem Aufprall oder bei verspannten Güssen zum Ausplatzen des Harzes kommt. Dagegen können heraus-

geführte Lötanschlüsse bei zu häufigem Bewegen abbrechen. Es empfiehlt sich daher, sie aus weichem, flexiblem Material (Kupferdraht nicht zu großen Durchmessers) herzustellen oder möglichst kurz gehaltene Lötfahnen aus weichem Material zu benutzen. Im übrigen kann, wenn mit starker Beanspruchung gerechnet wird, die Anschlußaustrittsfläche oder sogar die ganze Baugruppe mit einem elastischen Plast ummantelt werden (vgl. Abschn. 7.8.). Weit vorsichtiger ist die Baugruppe in elektrischer Hinsicht zu handhaben. Überlastungen – z. B. durch versehentlich falsche Beschaltung der Anschlüsse – müssen vermieden werden, da Ausfall eines Bauelements die ganze Baugruppe wertlos macht. Ein Versuch, eine Polyesterbaugruppe zu zerlegen, endet unweigerlich mit gleichzeitigem „Zerlegen" der eingeschlossenen Bauelemente. Je nach Schaltung kann man die Baugruppe entweder so konstruieren, daß sie weitgehend überlastungsfest ist (herausgeführte Meßpunkte lassen diesen Sicherheitsfaktor jedoch bei Falschanschluß illusorisch werden), oder man betreibt sie grundsätzlich über Vorwiderstände, Siebglieder u. ä. strombegrenzende Schaltungsteile. Bei der ersten Funktionsprobe nach Eingießen muß man besonders vorsichtig verfahren: Die Anschlüsse sind genau zu identifizieren und zu kennzeichnen, in die Speisespannungszuleitung ist ein Strommesser einzuschalten, um zu hohe Stromaufnahme sofort zu erkennen. Etwas günstiger bezüglich Reparaturmöglichkeiten liegen die Dinge bei der elastischen Vergußmasse EGK 19/Dolacol G 1 : 1. Sie kann notfalls entfernt werden, und nach Reparatur vergießt man die Baugruppe neu. Dieses Gemisch verleiht allerdings der Baugruppe nicht annähernd die Stabilität und Witterungsbeständigkeit wie Polyester G. Trotzdem kann eine mit diesem Material vergossene Baugruppe getrost einmal aus dem obersten Schrankfach heraus zu Boden fallen, ohne daß mehr als etwa ein verbogener Anschlußstift die Folge ist. Auch diese Baugruppen sind vollständig spritz- und schwallwasserdicht, während ein Polyester-Baublock sogar wochenlang unter Wasser betrieben werden kann.

7.1.5. Ausgeführte Beispiele

7.1.5.1. Zweistufiger NF-Vorverstärker in Polyester-Verguß

Als Grundplatte und Steckanschluß für den NF-Verstärker (als Mikrofonvorverstärker vorgesehen) diente ein 9poliger Röhrensockelstecker aus Preßstoff. Bild 21 zeigt den kompletten Verstärker (links) im Vergleich zu einer Röhre ECC 81. Beide sind etwa gleich groß. Aus der Schaltung (Bild 22) dieses Gußblocks (Polyester G, schnellgehärtet) ist die Zahl der in diesem Volumen untergebrachten Bauelemente ersichtlich. Als Gießform diente ein Tablettenröhrchen aus Glas. Wegen der vorgegebenen Raumverhältnisse erhielt der Verstärker ein reichlich dimensioniertes Speisespannungssiebglied (R 5, C 2). Bezüglich der Speisespannungsversorgung ist der Verstärker daher sehr variabel. C 2 nimmt bereits etwa ein Drittel vom Gesamtvolumen des Gießlings ein. Die genannten Dimensionierungen gelten natürlich nur für die ebenfalls mit ihren Kenndaten angegebenen Transistorexemplare (es wurden rauscharme Exemplare ausgesucht). Für den Betrieb ge-

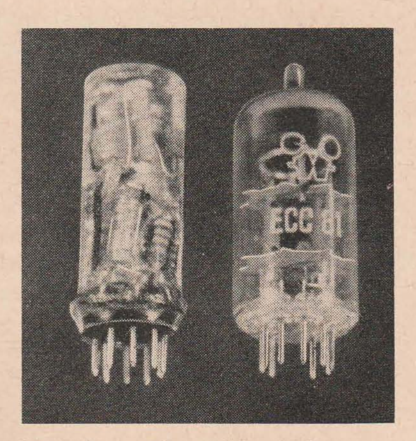


Bild 21 Steckbarer kompletter Mikrofonverstärker in Polyester G. Röhre zum Größenvergleich

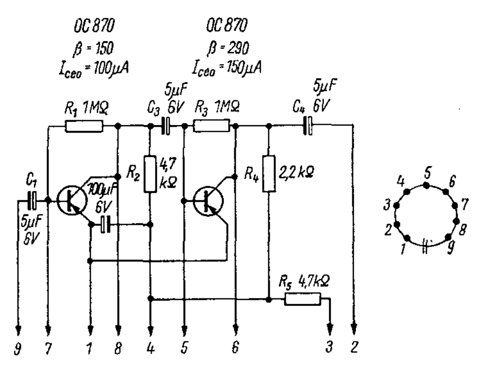


Bild 22 Schaltung des Mikrofonverstärkers in Polyester-Verguß

nügen die Anschlußpunkte 9 (Eingang), 2 (Ausgang), 1 (Masse) und 4 oder 3 (Betriebsspannungsminus); die übrigen Anschlüsse 5, 6, 7 und 8 sind Meßpunkte zur Kontrolle der Transistorarbeitspunkte, die sich durch Benutzung der entsprechenden Sockelstifte als Verdrahtungsstützpunkte ohnehin ergaben. Durch diese Stiftbelegung ist jedes Bauelement mit sämtlichen Anschlüssen von außen erreichbar; ein eventuell später ausfallender Widerstand oder ein Kondensator kann dann nachträglich außen durch Parallelschaltung des gleichen Teiles ersetzt werden.

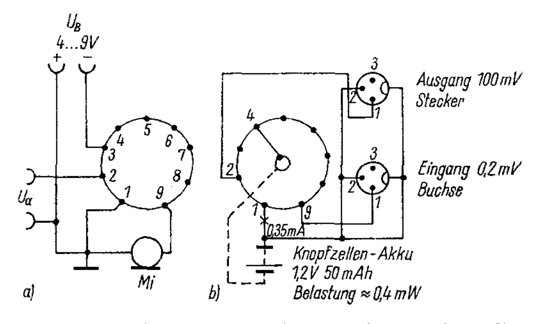


Bild 23 Adapterbeschaltung für den Mikrofonverstärker. Mit Betriebsspannungen ab 4,5 V wird rund 1000fache Verstärkung erreicht

Für einen Mikrofonverstärker wird im allgemeinen die Sockelbeschaltung nach Bild 23 a gewählt. Außer der Batterie, deren Spannung ohne Beeinträchtigung der Verstärkerfunktion zwischen 4 und 9 V liegen kann (bei Kombination mit nachfolgenden Verstärkern ist es also stets möglich, ihre Batterie mitzubenutzen, zumal Anschluß 3 im Verstärkerblock gesiebt wird), sind daher nur die Steckfassung für den Gußblock sowie die Anschlußelemente für Mikrofon und NF-Ausgang notwendig.
Um das Gerät selbständig – z. B. mit beliebigen Magnetbandgeräten – verwenden zu können, wurde für den Gußblock ein Adapter mit eigener Batterie (Kleinknopfzelle 1,2 V/50 mAh) gebaut, Schaltung nach Bild 23 b. Bild 24 zeigt diesen aus zwei Röhrenabschirmfassungskappen und einer Röhrenfassung gebauten Adapter. Die eine Röhrenkappe (vorn im Bild) trägt die Diodenbuchse für den Mikrofonanschluß; der Diodenstecker ist der NF-Ausgang. In der hinteren Schirmkappe sitzt der Gießharzblock, in der vorderen ist die Knopfakkuzelle untergebracht. Sie wird, wie Bild 25 zeigt, von der in der Abschirmkappe be-

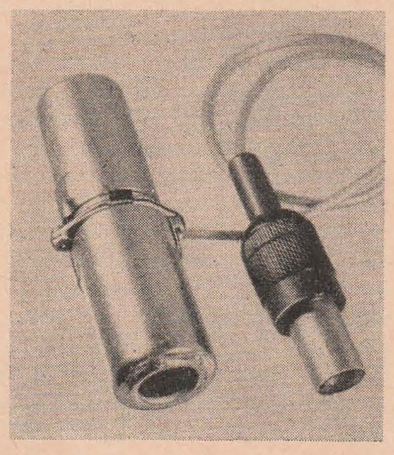


Bild 24 Adapter für den Mikrofonverstärkerbaustein

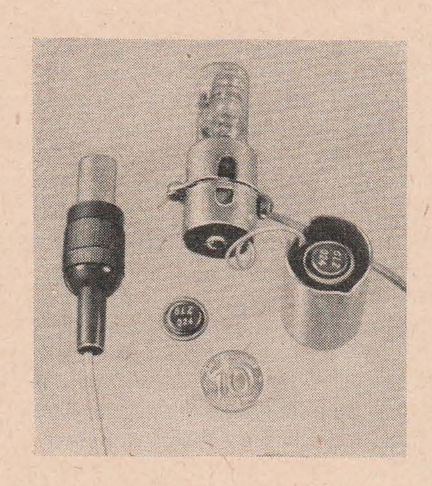


Bild 25
Der geöffnete Adapter

reits vorhandenen Röhrenandruckfeder gehalten, die zugleich die Verbindung nach Masse herstellt. Der Minuspol der Knopfzelle drückt im zusammengesetzten Zustand gegen den als Gegenkontakt benutzten Mittelstift der Röhrenfassung (zum Größenvergleich eine einzelne Knopfzelle und eine Münze).
Bild 23 läßt erkennen, daß auf die Benutzung des eingegossenen Siebglieds angesichts der geringen Betriebsspannung verzichtet wird (Zuführung des Minuspols an Stift 4). Mit dieser Betriebsspannung wies das Mustergerät bei einer Stromaufnahme von 0,35 mA eine rund 500fache Spannungsverstärkung auf. Mit 0,2 mV Eingangsspannung an 200 Ω wurden noch 54 dB Rauschabstand erreicht.
In dieser Beziehung und im Frequenzgang erwies sich dieser Gießharzverstärker handelsüblichen Heimmikrofonverstärkern gegenüber weit überlegen (übrigens wurde er inzwischen bei zahlreichen Demonstrationsvorführungen einige Dutzend Male kräftig zu Boden geworfen, ohne Schaden zu nehmen). Ein besonderer Einschalter erübrigt sich in diesem Falle, da die Batterie nur mit etwa 0,4 mW (entspricht rund 150 Betriebsstunden je Akku-

ladung!) belastet wird und man den Verstärker bei Nichtgebrauch aus dem Adapter entfernt.

7.1.5.2. Steckbarer Multivibrator in Polyester-Verguß

Nach dem gleichen Prinzip wurde der in Bild 26 gezeigte universell verwendbare Multivibrator aufgebaut. Stecksokkel und Größe bzw. Volumen gleichen dem im vorigen Abschnitt beschriebenen Verstärker. Infolge der geringeren Bauelementezahl ist bei ihm, wie das Foto deutlich erkennen läßt, das freie Harzvolumen vergleichsweise größer. Trotzdem wurde noch eine Schnellhärtung nach dem unter 5.4.2. und 6.1. Gesagten riskiert, die allerdings trotz vorsichtiger thermischer Steuerung schon zu – in diesem Falle noch unbedenklichen – thermischen Verspannungen an einigen Stellen des Gusses führte, wie die Unter-

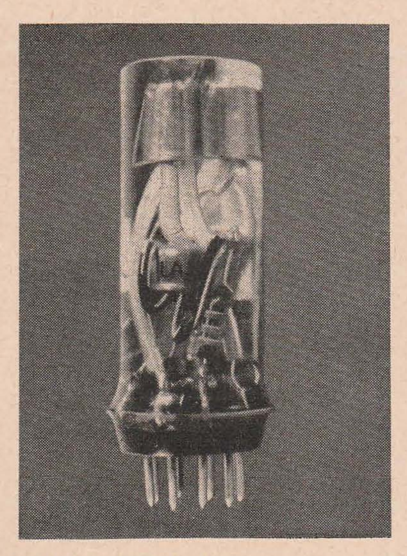


Bild 26 Steckbarer Universalmultivibrator in Polyester G

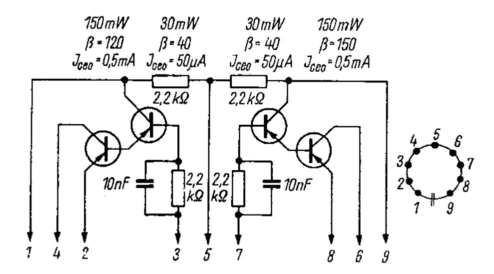


Bild 27 Schaltung des Multivibrators

suchung im polarisierten Licht erkennen ließ. Die in Bild 13 gezeigte Probe stellt übrigens den Kontrollguß zu diesem Multivibratorbaustein dar. Aus Bild 27 ist Schaltung des Multivibrators und Stiftbelegung ersichtlich. Den eigentlichen Multivibratortransistoren (30-mW-Typen) sind in Emitterfolge leistungsstärkere Transistoren nachgeschaltet. Die zeitbestimmenden Kondensatoren fehlen und werden je nach Verwendung außen angeschaltet. Die RC-Glieder in den Basiszuleitungen verbessern die Flankensteilheit bei hohen Frequenzen. Dieses Ausführungsbeispiel soll dem Amateur die zweckmäßige Schaltungstechnik für eine möglichst vielseitig verwendbare Universalbaugruppe zeigen: In solchen Fällen ist zu überlegen, welche Bauelemente man eingießt und welche zwecks Variationsmöglichkeit besser außen anzuschalten sind. Bild 28 a zeigt die Grundbeschaltung eines Adapters für diesen Steckmultivibrator. Mit R 1 und R 2 können beide Halbperioden in ihrer Zeitdauer getrennt eingestellt werden. Beide Widerstände dürfen zu Null werden (Überlastungssicherheit!), da den Transistorbasen im Baustein selbst die RC-Glieder vorgeschaltet sind. Mit C 1 und C 2 lassen sich die Tastzeiten grob, mit R 1, R 2 danach fein wählen. Durch ungleiche Bemessung sung von C 1 und C 2 kann die Dauer beider Halbwellen sehr unterschiedlich sein (bis 1 : 100 und mehr). Es ergaben sich beim Mustergerät etwa folgende Zeiten bzw. Frequenzen (C 1 = C 2 = C):

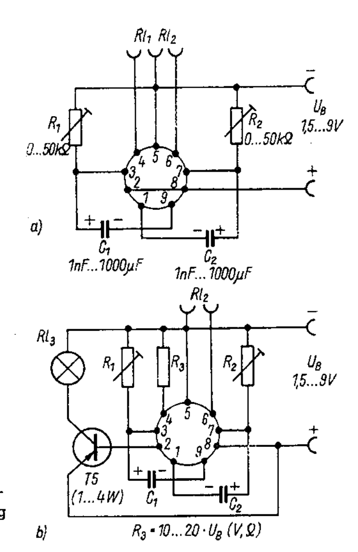


Bild 28
Grundbeschaltung des Multivibratoradapters (a) und Nachschaltung eines Leistungstransistors (b)

C = 1000 μF: t = 40 s bis 1 min, je nach R 1, R 2;
C = 50 μF: f = 2 Hz;
C = 50 nF: f = 500 Hz;
C = 5 nF: f = 2 kHz (jeweils für R 1 = R 2 = 50 kΩ).

Der Multivibrator gibt bis etwa 20 kHz noch ein einwandfreies Rechteck ab.

Bei RL 1, RL 2 (Bild 28 a) können die jeweiligen Lastwiderstände bzw. Verbraucher angeschlossen werden. Bild 29 zeigt einige Möglichkeiten dafür. Bei a ist die Beschaltung für ein Blinklichtgerät angegeben. Die Lampen leuchten wechselseitig mit dem von C 1, C 2 bzw. R 1, R 2 (Bild 28 a) vorgegebenen Rhythmus auf. Für die Verwendung als Tonfrequenzgenerator kann ein Übertrager K 21 mit Lautsprecher unmittelbar angeschlossen werden (Bild 29 b), wobei mit $U_B = 6$ V eine Ausgangsleistung von etwa 0,4 W erreicht wird. Als Zeitgeber schaltet man ein Relais an (Bild 29 c), wobei man nur einen der Schaltertransistoren benutzt. Durch ungleiche Bemessung von R 1, R 2 und C 1,

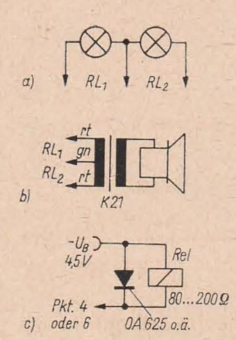


Bild 29
Einige Verbraucher für die Grundbeschaltung nach Bild 28 a

C 2 (Bild 28 a) läßt sich erreichen, daß das Relais in Abständen von maximal etwa 1 Minute jeweils kurz zieht.
Für Lasten, die die Maximalbelastung der Multivibratorschalttransistoren überschreiten, kann ein weiterer Leistungsschalttransistor in Emitterfolge nachgesetzt werden (Bild 28 b). R 3 richtet sich, wie angegeben, nach der Be-

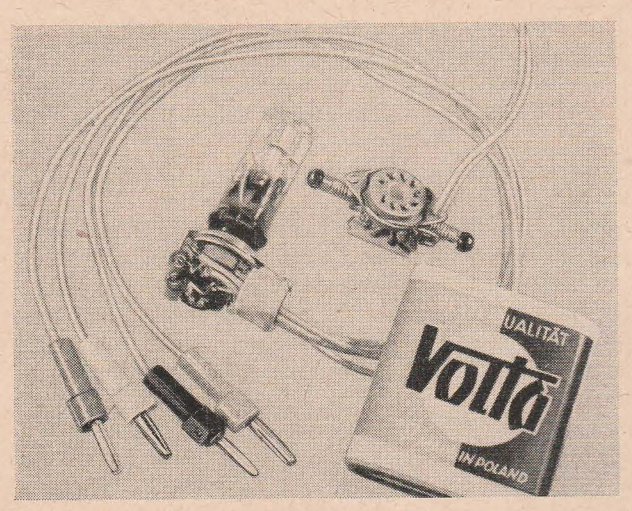


Bild 30 Der Multivibrator mit angesetztem Tongeneratoradapter, daneben der Blinklichtadapter

triebsspannung (der Steckbaustein selbst kann bei 1,5 bis 9 V betrieben werden!). RL 3 darf jetzt eine stärkere Last sein. Bei RL 2 wird entweder eine der Lasten nach Bild 29 oder nichts angeschlossen. Auch dieser Seite kann man (an Stift 8) einen zweiten Leistungstransistor nachsetzen. Bei RL 2 wird dann ein zweiter Widerstand R 3 erforderlich. Tatsächlich läßt sich also dieser Baustein nahezu jeder Aufgabe anpassen. Bild 30 zeigt den Steckbaustein auf einem Tonfrequenzadapter nach Bild 29 b und 28 a, daneben liegt ein Blinklichtadapter nach Bild 29 a und 28 a.
Während diese Beispiele die Grundzüge günstiger Schaltungs- und Anschlußpunktewahl zeigen, stellen beide noch nicht das erreichbare Optimum hinsichtlich maximaler Bauelementedichte dar. Im „Elektronikbastelbuch" des Verfassers (Deutscher Militärverlag 1965) ist ein Beispiel für extreme Kompaktbauweise eines Polyester-Gießharzfunktionsblocks zu finden, bei dem in einem Gußblockgesamtvolumen von ungefähr 6 cm^3 (etwa die halbe Größe der gezeigten Gußblöcke) 17 Bauelemente, davon 4 Halbleiter, untergebracht und an 20 Lötanschlüssen herausgeführt wurden.

7.2. Baugruppengußblöcke mit EGK 19

Wie schon mehrfach angedeutet, eignet sich EGK 19 weniger für diesen Zweck. Erstens ist es im Reinzustand wenig splitterfest; herausgeführte Anschlüsse neigen unter Umständen zum Ausbrechen. Dem kann zwar durch Zusatz von Dolacol G zum Ansatz sowie durch elastische Ummantelung abgeholfen werden. Als Nachteile gegenüber dem Polyester G verbleiben trotzdem die verhältnismäßig starke bräunliche Färbung dieses Harzes, die lange dauernde Aushärtung (insbesondere bei nur provisorisch fixierten Einschlüssen), die kaum steuerbar ist, sowie vor allem die schwierige Entformbarkeit nach der Aushärtung. Als Vorteil gegenüber dem Polyesterharz ist der einfachere Ansatz (nur eine, durch Tropfenzählung dosierbare Kom-

ponente) zu nennen. Der Verfasser bevorzugt nach eingehenden Versuchen mit beiden Harzen für Baugruppenvergüsse unbedingt das Polyesterharz trotz der etwas umständlicheren Ansatz- und Härtungsarbeiten, die sich aber durch sofort entformbare, glasklare Güsse mit guten mechanischen Eigenschaften auszeichnen. Immerhin sind auch mit EGK 19 Baugruppenvergüsse der geschilderten Art durchaus durchführbar. Sie werden grundsätzlich nach den gleichen, bereits angegebenen Richtlinien unter Berücksichtigung der Eigenschaften von EGK 19 und der dafür gültigen Rezeptur hergestellt.

7.3. Baugruppengußblöcke mit der Elastikkombination EGK 19/Dolacol G (1 : 1)

Für den Hausgebrauch des Amateurs, der seinen Baugruppen lediglich eine gewisse Griffigkeit und ausreichenden Schutz gegen rauhe Handhabung geben will, hat diese Vergußmasse gegenüber dem Polyesterverguß wesentliche Vorteile. Sie liegen besonders in der nachträglichen Zerlegbarkeit und der einfacheren, weil reaktionsunkritischeren Verarbeitung des Ansatzes. Hinzu kommt die bessere Dosierbarkeit kleiner Ansatzmengen bei EGK 19, so daß ökonomischer gearbeitet werden kann.

7.3.1. Konstruktive Hinweise

Bezüglich der Konstruktion der Baugruppe gilt alles bei 7.1.1. Gesagte, mit der Einschränkung, daß in diesem Fall ein in sich stabilerer Aufbau der Baugruppenverdrahtung notwendig ist, da die elastische Masse zwar beträchtlich abstützt und versteift sowie gut isoliert, aber von einander eng benachbarten Bauteilen oder Lötstellen bei äußerer Krafteinwirkung doch durchstoßen werden kann. Als Form sollte man vorteilhaft eine PVC-Form wählen, zumal Erwärmung des Gießlings nicht zu befürchten ist. Auch die gekittete Glasform nach Bild 10 sowie kastenförmige PVC-

weich-Formen sind gut geeignet. Als Trennmittel ist Wachs-Tetra-Lösung hier weniger günstig als fettende Trennmittel (Silikonfett, Vaseline). Bei PVC-Formen erübrigt sich jedes Trennmittel, jedoch muß die Form sehr sauber und glattwandig sein. Da der Gießling mit dem Messer schneidbar ist und wegen der vor Verguß bereits abgeklungenen Exothermie das Gießvolumen keine Rolle spielt, können auch etwas zu große Formen benutzt werden. Das Abschneiden überflüssiger Kanten vom Gießling soll dann mit Rasierklinge bzw. scharfem Messer frühestens 8 Tage nach Entformung erfolgen, sonst wird die Schnittfläche rauh und unsauber.

7.3.2. Ausgeführte Beispiele

Da für derartige Elastikbaugruppenvergüsse ohnehin ein tragendes Element erforderlich ist, kann man gut die gedruckte Leiterplatte verwenden und eine rechteckige Gießform wählen. Die bereits in diesem Zusammenhang erwähnten „Amateurelektronik"-Baugruppen des VEB Meßelektronik, Berlin, entsprechen bereits sehr gut diesen Forderungen. Bild 31 zeigt die Universalbaugruppe KUV 1 vorn im Original, dahinter die gleiche Baugruppe in Elastikverguß. Rückseitig über der Leiterplatte ist der Plastüberzug etwa 1,5 mm bis 2 mm stark. Als Form wurde eine PVC-Form ohne Trennmittel benutzt. Die derart vergossene Baugruppe ist weitgehend spritz- und schwallwasserfest, stoß- und fallgesichert. Gleichzeitig gibt der Plast einen merklichen Schutz gegen das bei diesen Baugruppen gelegentlich auftretende seitliche Verdrehen der Steckstifte in ihren Haltepunkten. In Bild 32 sind die beiden Baugruppen nochmals von oben zu sehen. Die Bilder 33 und 34 zeigen die Endstufenbaugruppe GES 4-1 im unvergossenen und im vergossenen Zustand. Für diesen Gießling wurde eine gekittete Glasscheibenform nach Bild 10 benutzt; als Trennmittel Wachs-Tetra-Lösung. Dabei ergaben sich merkliche Ablöseschwierigkeiten beim Entformen, wie

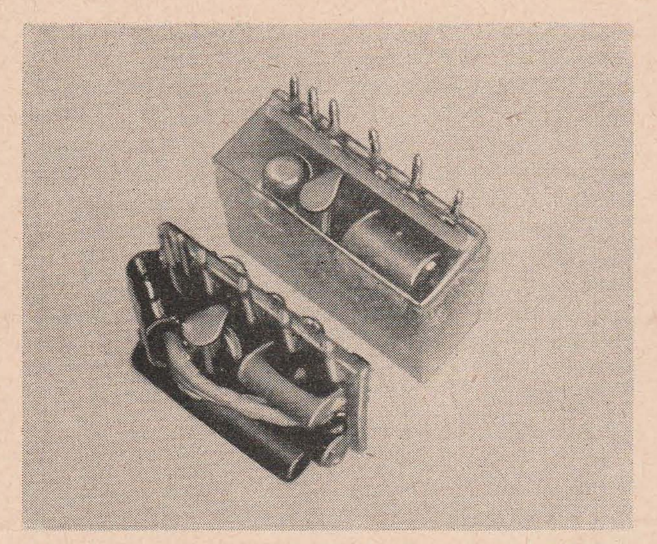


Bild 31 Baustein KUV 1 in Originalform (vorn), dahinter der gleiche Baustein in Elastikvergußmasse

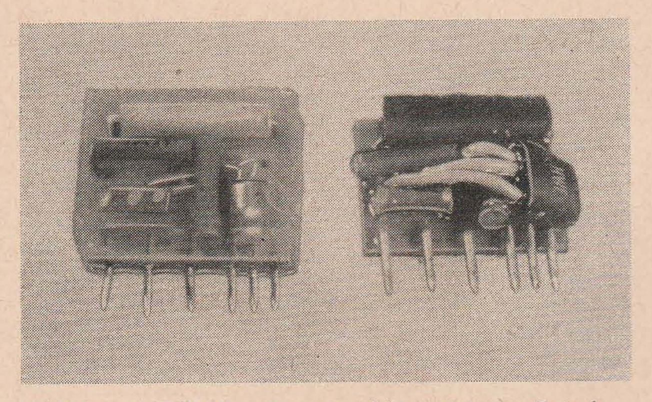


Bild 32 Baustein KUV 1 im vergossenen und im unvergossenen Zustand

die nicht ganz glatte Gußoberfläche in Bild 34 erkennen läßt. Solche Fehler treten insbesondere bei zu zeitiger Entformung auf. Es empfiehlt sich deshalb, auch bei dieser Gußmasse einen Kontrollguß in gleichartigem Formmaterial, mit dem gleichen Ansatz und unter gleichen Härtungsbedingungen durchzuführen, an dem dann der günstigste Zeitpunkt zum Entformen risikolos erprobt werden kann. In Bild 34 zeigt der Vergleich beider Baugruppen auch die Stärke der Gußschicht über der Leiterplatte. Während der Aushärtung stand die Baugruppe sozusagen „kopf" in der Form.

Bild 35 zeigt schließlich die Elastikvergußbaugruppe GES 4-1 in Kombination mit dem unter 7.1.5.1. beschriebenen Polyester-NF-Verstärker. Links wurde das Mikrofon angeschlossen, rechts der Lautsprecher und über die rückwärtige Zuleitung die Batterie (6 V). Das Ganze stellt demzufolge eine komplette NF-Übertragungsanlage dar. Falls derartige Bausteinkombinationen von vornherein beabsich-

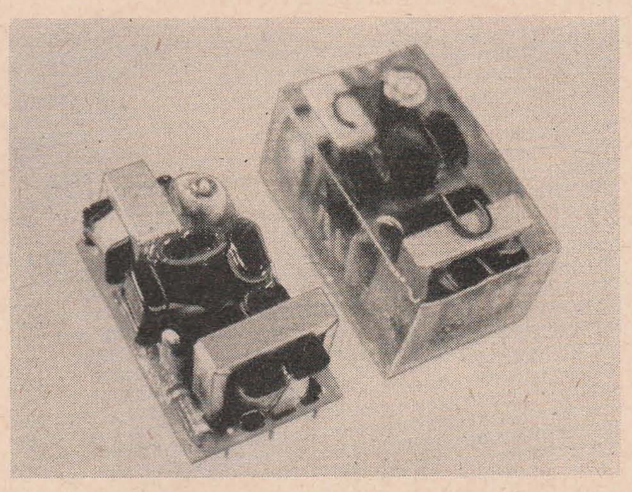


Bild 33 Baustein GES 4-1 im Originalzustand (links) und vergossen in Elastikkombination EGK 19/Dolacol G 1 : 1

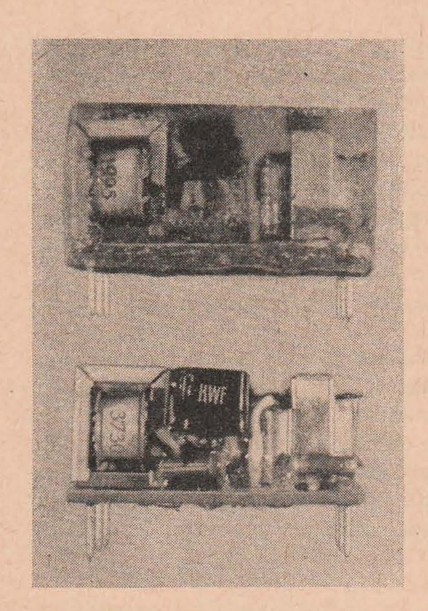


Bild 34
Baustein GES 4-1
im vergossenen und
unvergossenen Zustand

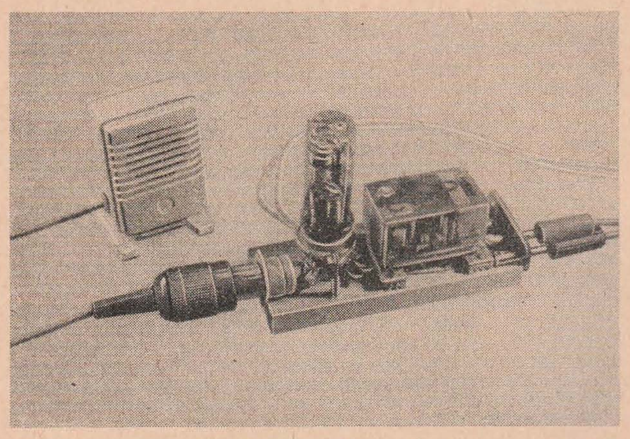


Bild 35 Demonstrations-NF-Übertragungsanlage, kombiniert aus Mikrofonverstärker (Polyester-Steckbaustein) und Endstufe GES 4-1 (Elastikvergußbaustein)

tigt sind, sollte man natürlich für alle Baugruppen etwa gleiche Abmessungen und Gießformen wählen. Die in Bild 35 gezeigte Kombination von zwei verschiedenartigen Baugruppen war lediglich für Demonstrationszwecke bestimmt.

7.4. Klebverbindungen mit Epilox EGK 19

Mit EGK 19 lassen sich nahezu alle beim Amateur vorkommenden Werkstoffe verkleben, selbst Metall-Glas-Klebungen u. ä. ausgefallene Kombinationen. Lediglich auf PVC und artverwandten Plasten haftet EGK 19 nicht. Gummiklebungen sind ebenfalls möglich, jedoch nicht von allzu großer Haftwirkung. Diese kann durch Beigabe von etwa 10 Vol.% Dolacol G zum EGK 19 etwas verbessert werden.
Verarbeitungshinweise und Rezeptur wurden unter 6.2.2. schon gegeben. Die Festigkeit der Klebung bleibt bei etwa 70 bis 80 °C erhalten; oberhalb dieser Temperatur wird EGK 19 etwas thermoplastisch, die Klebwirkung verringert sich dann allmählich. Durch stärkere Erwärmung oder durch nicht zu kurzzeitiges Einwirken von Azeton (feuergefährlich!) können Klebungen gelöst werden. Für stark beanspruchte Klebungen ist Aufrauhen glatter Klebflächen in jedem Fall günstig; außerdem müssen die Klebflächen völlig trocken sowie öl- und fettfrei sein (mit Tetra entfetten). Bild 36 zeigt einige mögliche Anwendungen im

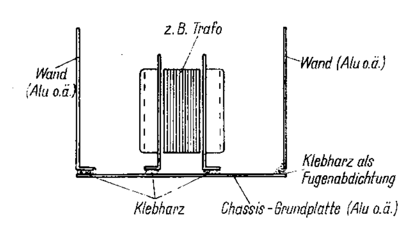


Bild 36 Beispiele für Klebharzanwendungen

Prinzip. Mittels EGK 19 können Chassiswände verklebt werden (links im Bild), wobei die Klebschicht bei Verzicht auf Masseverbindung und bei gleichmäßiger Ausführung gleichzeitig elektrisch isoliert (über 100 V sollte man jedoch sicherheitshalber nicht gehen!). Der VHF-Amateur kann übrigens auf diese Weise sehr einfache „Klatschkondensatoren" noch nachträglich improvisieren, da EGK 19 gute HF-Eigenschaften hat. Besonders geeignet ist EGK 19 auch zur Fugendichtung oder zur Reparatur undicht gewordener Gehäuse aller Art (rechts in Bild 36). Schließlich können jegliche Bauelemente bis zu großen Netztrafos und ähnlich schweren Objekten ohne weiteres an Stelle der sonst üblichen Schraubbefestigung auf das Chassis geklebt werden. Die Haftfähigkeit einer einwandfrei ausgeführten Klebung geht weit über das Erforderliche hinaus. Bild 37 zeigt u. a. einen in hängender Stellung angeklebten Trafo. Bei stark auf Biegung oder Schälwirkung beanspruchten Klebungen, insbesondere, wenn diese längere Zeit der freien Witterung ausgesetzt werden, sollte man zur Sicherheit eine zusätzliche Befestigung (Randniet, Schraube o. ä.) vorsehen, die die Einleitung des Abschälvorgangs unterbindet und daher am äußeren Rand der Klebung sitzen muß. In Bild 37 a wurde zur Verdeutlichung dessen angenommen, die den Trafo tragende Fläche sei nur rechtsseitig befestigt und wirke als Hebelarm. Die Pfeile demonstrieren die auftretende Kraftwirkung. Bild 37 b zeigt die Anordnung der Abschälsicherung (hier ein Randniet) bei zwei rechtwinklig geklebten, auf Zug beanspruchten Ble-

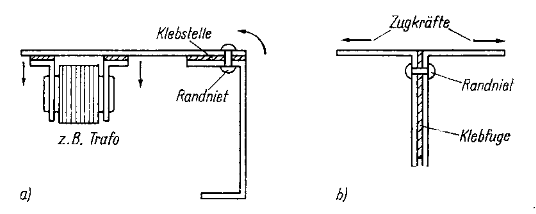


Bild 37 Entlastung der Harzklebstelle bei Schälbeanspruchung mittels Randniet

chen. Sinngemäß ist in allen ähnlichen Fällen zu verfahren, falls man starke Beanspruchung erwartet. Die Einleitung der Abschälung wird übrigens durch Korrosion der geklebten Metallteile begünstigt. Bei Klebstellen, die der freien Witterung ausgesetzt sind, empfiehlt sich deshalb das Überstreichen der Klebfuge und des angrenzenden Gebiets mit einem Schutzlack. Hierfür kann ebenfalls das ohnehin griffbereite EGK 19 benutzt werden.

7.5. Elastische Dichtungen mit Dolacol K schwarz

Dolacol K eignet sich wegen seiner sehr guten Witterungsbeständigkeit vorzüglich für elastische Dichtungen aller Art auch im Freien. Bild 38 zeigt eine mögliche Anwendung. Die Dachhautdurchführung eines Antennenmastes wird mit Dolacol K abgedichtet, indem man es einfach in die Durchführung verspachtelt und äußerlich rund um diese aufträgt. Das Antennenkabel kann ohne weiteres mit eingebettet werden. Weitere Anwendungsfälle sind Abdichtung von Kabelsteckern, Kabeldurchführungen und als interessante Möglichkeit die Abdichtung mechanisch betätigter Verbindungsorgane wie Stößel, Drehachsen usw. (Unterwassergeräte). Drehachsen werden zu diesem Zweck poliert, hauchdünn eingefettet; danach verspachtelt man die Durchführung rund um die Achse mit Dolacol K. Der Plast schmiegt sich außerordentlich eng an die Achse und ergibt

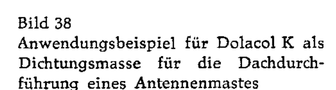


Bild 38
Anwendungsbeispiel für Dolacol K als Dichtungsmasse für die Dachdurchführung eines Antennenmastes

vollständige Abdichtung. Die Fettschicht verhindert Festlegen der Achse durch Klebwirkung. Stößel u. ä. mit geringem Hub werden zwecks noch besserer Dichtung entfettet. Das dann auf dem Stößel klebende Dolacol ist je nach Ausbildung der Durchführung und Stößelhub elastisch genug, der Stößelbewegung zu folgen, ohne abzureißen. Beachtet werden muß bei allen Anwendungen, daß Dolacol K schwarz nicht isoliert. Sind stromführende Leitungen abzudichten, so sollte man auf das Elastikgemisch EGK 19/Dolacol G 1 : 1 zurückgreifen, eventuell mit von 1 : 1 nach oben oder unten etwas abweichendem Mischungsverhältnis. Gegenüber Dolacol K schwarz ist diese Elastikmischung allerdings von wesentlich geringerer Dehn- und Reißfestigkeit, weist aber etwa gleiche Schmiegsamkeit, Dichtwirkung, ausreichende Witterungsbeständigkeit und gute Isolationseigenschaften auf.
Mit Dolacol K schwarz können auch beschädigte Gummikabelmäntel repariert werden, solange der eigentliche Leiter noch nicht blank liegt. Die Riß- oder Schnittstelle im Kabelmantel ist gründlich zu säubern, insbesondere von Talkum u. ä. Substanzen zu befreien, und danach gründlich mit Tetrachlorkohlenstoff zu entfetten. Soweit möglich, soll man den Gummi etwas anrauhen. Die schadhafte Stelle wird nunmehr mit wenig Dolacol K ausgefüllt und verklebt. Über die schadhafte Stelle trägt man einen nicht zu schmalen, das Kabel völlig umfassenden Streifen einer dünnen Schicht Dolacol auf und läßt das Ganze in ruhiger Lage aushärten.

7.6. Elastische Klebungen mit Dolacol K schwarz

Dolacol K hat an sich nur geringe Klebkraft, ist also kein Klebmittel im engeren Sinne. Es eignet sich aber gut zur Anfertigung maßgerechter Puffer- und Federstücke. Bild 39 zeigt das am Beispiel der federnden Montage einer Röhrenfassung. Für derartige Fälle kann man Dolacol K zur besseren Verarbeitung nach Ansatz so lange stehenlassen,

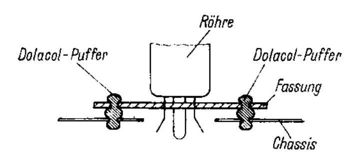


Bild 39 Mittels Dolacol K vibrationsarm gelagerte Röhrenfassung

bis die Härtung begonnen hat und die Masse zäh (aber noch streichbar-klebrig) und damit besser formbar ist. Der Röhrenfuß wird provisorisch abgestützt und das Dolacol zwischen Fassung und Chassis eingebracht. Wegen der nicht allzu großen Klebwirkung empfiehlt es sich, die Masse durch die der Schraubbefestigung dienenden Löcher in Fassung und Chassis etwas durchzudrücken und zu stauchen. Die auf diese Weise entstehenden „Nietköpfe" halten die Bauteile nach Aushärtung zuverlässig zusammen. Ähnlich verfährt man bei der vibrationsarmen Aufhängung schwererer Objekte. Bild 40 verdeutlicht das am Beispiel der Aufhängung eines Plattenspielerlaufwerks. Das Dolacol wird an den vorgesehenen Stellen unter die zunächst abgestützte Laufwerkplatte eingebracht. Eventuell kann hier zwecks guter äußerer Form des Puffers ein Stück PVC-Schlauch geeigneten Durchmessers, mit Dolacol K gefüllt, als „Form" dienen. Es wird nach Aushärtung vorsichtig längs aufgeschnitten und abgezogen. Dolacol K weist dann eine glatte, saubere Oberflächenstruktur auf. Um ein Abrutschen der Puffer zu vermeiden, kann man

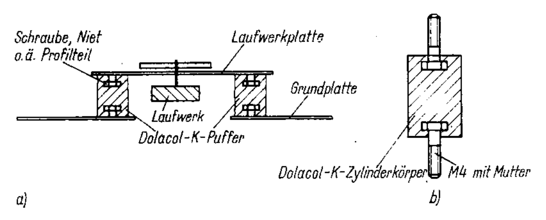


Bild 40 Anwendungsbeispiele für Dolacol K als Vibrationsdämpfer

entweder ähnlich verfahren, wie Bild 39 zeigt, oder man sieht Profilteile (hervorstehende Schraubenköpfe, Blechwinkel, Laschen o. ä.) vor, die in das Dolacol eingebettet werden (Bild 40 a). Bettet man als Profilteile Flachkopfschrauben geeigneter Abmessung beiderseitig ein, so kann man sich auch universell verwendbare, mit Mutter anschraubbare Puffer fertigen (Bild 40 b). Als Gußform leistet dabei wieder ein Stück PVC-Schlauch gute Dienste, das später abgezogen wird. Da das Dolacol eine ausgezeichnete mechanische Stabilität aufweist, kann man mit entsprechend großen Pufferflächen auch sehr schwere Objekte, wie ganze Verstärkergestelle u. ä., vibrationsarm lagern. Auch Motore können auf diese Art gelagert werden.

7.7. Extrem witterungs- und stoßfeste Baugruppen

Durch entsprechende Vergußtechnik lassen sich ganze Kleingeräte erstaunlich robust und nahezu unzerstörbar aufbauen. Beispielsweise kann man den Fernsteuerempfänger eines Motorflugmodells vollständig vergießen; er übersteht dann jeden Modellabsturz ohne Schaden (Halbleitertechnik vorausgesetzt). Schiffsmodell-Fernsteuerempfänger können getrost einmal „auf Grund gehen", elektronische und Nachrichtengeräte für Sporttaucher macht man auf diese einfache Weise wasserfest, und schließlich liegen für Fallschirmsportler (in Kollektivarbeit mit Funkamateuren!) heute auch aus Flugzeugen abwerfbare Kleinstsender, Funkortungs- oder Blinklichtbojen (erstere nach dem Fuchsjagdprinzip auffindbar), die ohne jeden Fallschirm abgeworfen werden, bereits im Bereich des für Amateure Möglichen.
Bei Entwurf und Aufbau derartiger Geräte geht man so vor, daß man das Gesamtgerät in einzelne Baugruppen bzw. Funktionsblöcke geeigneter Größe mit Lötanschlüssen unterteilt. Nach Einzelaushärtung (Gießharz Polyester G) werden diese Baugruppen unmittelbar aneinandergesetzt, mittels Dolacol K oder Elastikmischung

EGK 19/Dolacol G verklebt und untereinander verdrahtet. Das auf diese Weise entstandene Gesamtgerät wird mit Elastikmischung EGK 19/Dolacol G umkleidet, wobei sich ein etwas härterer Ansatz (1,5 : 1) empfiehlt. Für extreme Beanspruchung (für Flugzeugabwurf oder langen Unterwasserbetrieb) kann schließlich noch eine äußere Ummantelung mit Dolacol K erfolgen. In diese bezieht man dann eventuell auch die mit Schutzlack isolierte Batterie mit ein, die für Wechsel herausschäl- oder schneidbar ist und mit neuem Dolacol-K-Ansatz wieder eingebettet werden kann. Aus diesem Kunststoffblock ragen nur die Antenne o. ä. Organe sowie eine robuste Kurzschlußbrücke (als Einschalter) heraus.

Übliche in Polyester vergossene Baugruppen sind bei Stürzen aus größerer Höhe auf harten Boden (etwa vom 2. oder 3. Stockwerk auf Straßenpflaster) noch splittergefährdet. Dies kann man vermeiden und den Baublock auch für solche Stürze vollständig absichern, indem man ihn mit einer 3 mm bis 4 mm starken Schicht Dolacol K ummantelt. die scharfe Schläge abpuffert (falls das wegen blank herausgeführter Anschlüsse ausscheidet, kann Elastikgemisch EGK 19/Dolacol G 1,5 : 1 bis 1 : 1 benutzt werden).

Als Demonstrationsmuster für die damit erreichbare Widerstandsfähigkeit wurde ein kleiner Transistor-Sperrschwingeroszillator angefertigt, dessen Schaltung Bild 41 zeigt und der gleichzeitig darstellen sollte, mit welch geringen Energien eine Transistorschwingschaltung auszu-

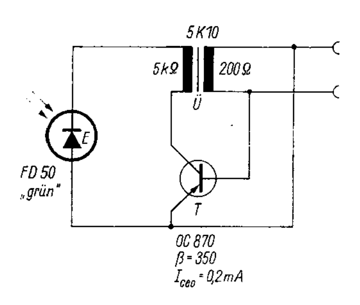


Bild 41
Schaltung des Demonstrationstransistorgenerators mit Fotodiode als Speiseelement

kommen vermag. Als Stromquelle dient eine Fotodiode *FD 50 grün* (VEB Werk für Fernsehelektronik, Berlin). Die auf FD auffallende geringe Lichtmenge (die lichtempfindliche Fläche von FD ist nur etwa 1 mm^2 groß!) genügt bereits zum Anschwingen der einfachen Generatorschaltung. An den Ausgangsklemmen ist mit Kopfhörer dann eine NF-Schwingung von etwa 500 Hz zu hören. Das Gerät spricht bereits bei Beleuchtungsstärken um 100 lx an, wobei der Generator mit 80 mV und 6 μA (!) arbeitet (am Mustergerät gemessene Werte). Das entspricht einer Leistungsaufnahme von nur 0,5 μW! Die drei Bauteile T, Ü, FD (Bild 41) sind in Polyester G vergossen (Gesamtvolumen der Baugruppe etwa wie Fingerhut); lediglich die obere Hälfte der Kuppenlinse von FD ragt noch über die Harzoberfläche. Die Anschlüsse wurden mit isolierter Litze herausgeführt. Bild 42 zeigt den Aufbau. Der Polyesterblock ist mit einer etwa 5 mm starken Schicht Dolacol K schwarz ummantelt. Über der Fotodiode mußte die Deckschicht zum Schutz der Kuppenlinse etwas stärker gehalten werden. Der „Lichtschacht" wurde durch ein über FD gesetztes, nach Dolacol-Aushärtung entferntes Stück PVC-Schlauch ausgespart. Die Ausgangsleitung liegt, um bei später möglichen Kabelbrüchen eine Reserve zu haben, innerhalb des Dolacol-Mantels in Schleife und kann daher durch oberflächliches Aufschneiden jederzeit wieder gefaßt werden. Da in diesem Gußblock keine sich abnutzenden Bauteile enthalten sind und ausgesuchtes, über längere

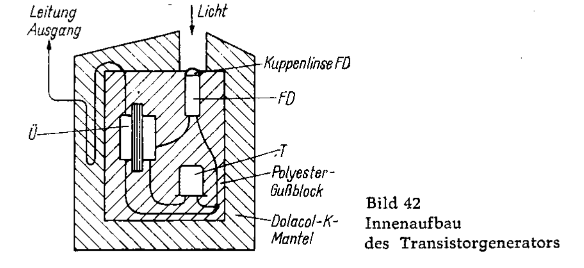


Bild 42
Innenaufbau
des Transistorgenerators



Bild 43 Ansicht des in Polyesterharz vergossenen, mit Dolacol K ummantelten Transistorgenerators

Zeit erprobtes Material verwendet wurde, kann mit einer Lebens- bzw. ununterbrochenen Betriebsdauer von einigen Jahrzehnten oder mehr gerechnet werden. Bild 43 und Bild 44 zeigen das in dieser Art präparierte Muster. Dieses Mustergerät wurde reichlich strapaziert und hielt (noch *vor* Anfertigung der Fotos) u. a. folgende Behandlungen aus: einige Dutzend Würfe vom Dach eines vierstöckigen Hauses auf Betonboden und Straßenpflaster; einen mehrwöchigen Daueraufenthalt im Faulschlamm eines Flusses, mehrere Wochen lange Daueraufenthalte während Hitze-, Kälte- und Regenperioden im Freien; mehrfaches Überfahren mit vollbesetztem PKW auf Kopfsteinpflaster und zwei Stürze von der Spitze eines Kirchturms auf Kopfsteinpflaster sowie mehrstündige Aufenthalte in Benzin, Öl und verschiedenen Waschmittellösungen, wobei das Muster in einem Fall versehentlich für wenige Minuten gekocht wurde! Die Funktion ist nach wie vor unverändert. Dieses Demonstrationsmuster hat einmal mehr die zuverlässigen Dichtungs- und mechanischen Eigenschaften der benutzten Kunststoffe bewiesen. Auf der Grundlage des gewählten

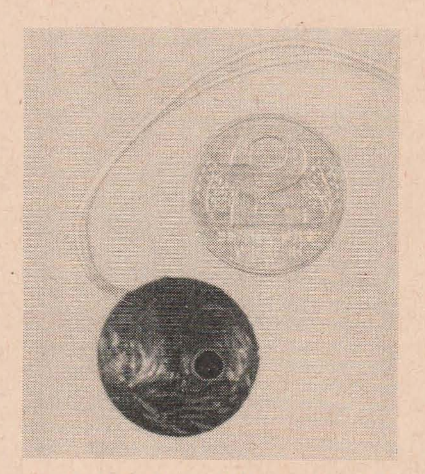


Bild 44 Die Lichteintrittsöffnung ist gut sichtbar. Münze zum Größenvergleich

Aufbaus (hartelastisches Gießharz mit weichelastischer Ummantelung) kann der Amateur für andere extreme Anwendungsfälle entsprechende Lösungen finden. Deshalb und um die Möglichkeiten der Gießharztechnik auch in dieser Beziehung zu verdeutlichen, wurde das Muster vorgestellt.

7.8. Bauelementschutzüberzüge

Ein Bauelement oder eine Baugruppe muß, um gegen Umwelteinflüsse geschützt zu sein, nicht unbedingt vollständig vergossen werden. Gelegentlich genügt bereits ein Plastschutzüberzug, den man zweckmäßig im Tauchverfahren herstellt (das Bauelement oder die Baugruppe wird in den Harzansatz getaucht, abgetropft und ausgehärtet). Je nachdem, ob man harten oder elastischen Überzug wünscht, benutzt man EGK 19 rein oder eine Mischung EGK 19/Dolacol G (10 : 1 bis 1 : 1, je nach Anforderungen an den Überzug). Auch hierfür eignet sich besonders gut die Mischung

1 : 1. Sie ergibt, wenn entweder mehrfach oder erst im zähflüssigen, bereits angehärteten Stadium getaucht wird, relativ kräftige, lückenlose und guthaftende, aber auch leicht abschälbare elastische Überzüge, die die gesamte Verdrahtung einer Baugruppe merklich versteifen. Für den mit Gießharzen ausgerüsteten Amateur, der im Besitz der „Amateurelektronik"-Bausteine ist, kann eine Tauchpräparierung sämtlicher Baugruppen mit dem Elastikgemisch in jedem Fall empfohlen werden.
Hierher gehört auch das Abstützen von aus Polyester-Gruppen herausgeführten Anschlüssen zwecks Sicherung gegen Ausplatzen und Abbrechen der Anschlüsse, gegebenenfalls sogar die Tauchummantelung des ganzen Polyester-Blocks. Bild 45 skizziert das Anbringen einer solchen elastischen Stützschicht auf einem Polyester-Baublock.
Besonders bruchgefährdete Bauelemente können auch *vor* der Einbettung in das starre Gießharz elastisch ummantelt werden, wobei in jedem Fall Tauchummantelung mit EGK 19/Dolacol G 1 : 1 genügt. Dies kommt vor allem für größere Hohlkörper in Frage, die durch die bei ungünstigem Härtungsverlauf auftretende Harzschrumpfung und die damit verbundene innere Kompressionswirkung eingedrückt werden könnten. Eine elastische Ummantelung solcher Bauteile gleicht die nur Zehntelmillimeter betragenden Harzschrumpfungen aus. Bild 46 skizziert ein Beispiel dafür. Als Hohlkörper wurde eine Glimmstrecke (Prüfstiftglimmröhrchen o. ä.) angenommen (andere Beispiele sind die Glasgehäuse von Fotodioden, einigen älteren Importtransistoren usw.). Nur dieser Bauteil wurde vor Einguß im Harz mit Elastikmischung tauchummantelt.

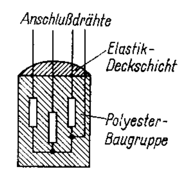


Bild 45
Bruchgefährdete Anschlußdrähte an Gießharzbaugruppen können mit elastischem Plast abgestützt werden

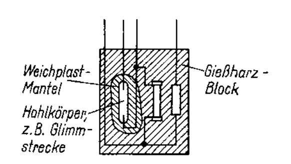


Bild 46
Weichplastummantelung bruchgefährdeter Bauelemente vor dem Einguß in Gießharz

7.9. Der Thioplast Dolacol K schwarz als elektrischer Wandler

Grundsätzliches dazu wurde bereits unter 4.5. gesagt. Nun einige praktische Beispiele für die Anwendung dieses Leitfähigkeitseffekts. Der Thioplast wandelt eine mechanische Krafteinwirkung in eine elektrische Widerstandsänderung um. Die Größe dieser Kraft (Druck, Zug, Gewicht usw.) kann also auf dem Wege der Widerstandsmessung bzw. bei konstanter Spannung durch Strommessung bestimmt werden. Das Prinzip zeigt Bild 47 a. R ist der aus dem Thioplast bestehende Wandler. Strommesser I kann (theoretisch) unmittelbar in Druck, Gewicht usw. geeicht werden. Praktisch läßt sich diese Schaltung kaum anwenden, da der Thioplast einen beträchtlichen negativen Temperaturkoeffizienten aufweist. Änderungen der Umgebungstemperatur führen demzufolge ebenfalls zu Widerstandsänderungen und damit zu Fehlmessung. Es ist deshalb eine Temperaturkompensation erforderlich, die in einfacher Weise in einer Brückenschaltung (Bild 47 b) erfolgt; R 1 – der

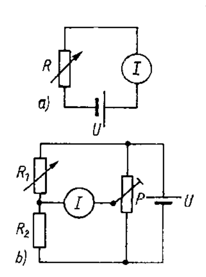


Bild 47
Prinzipschaltung (a) und zur Temperaturkompensation erforderliche Brückenschaltung (b) für den Thioplast Dolacol K bei Anwendung als Wandler

druckabhängige Thioplast, R 2 – ein Widerstand mit genau gleichem Temperaturkoeffizienten. Praktisch verwendet man dafür ein gleich großes Stück des gleichen Thioplasts, der jedoch mechanisch nicht belastet und in Nähe von R 1 so angeordnet wird, daß er stets dessen Temperatur annimmt. Mit P stellt man das Brückengleichgewicht bei unbelastetem R 1 ein. I kann jetzt unmittelbar in der zu messenden mechanischen Größe geeicht werden. Wegen der großen Wandlerempfindlichkeit des Thioplasts kommt man fast immer mit relativ geringen Spannungen, einfachem Milliamperemeter und ohne jede Meßverstärkung aus.

Bild 48 zeigt mögliche und vom Verfasser labormäßig bereits mit gutem Erfolg erprobte Ausführungsformen von Wandlern. Eine sehr einfache Waage (z. B. Personen- oder Stückgutwaage) erhält man nach Bild 48 a. Auf ein Grundbrett wird eine etwa 10 mm starke Dolacol-Schicht aufgetragen und durch ein zweites Auflagebrett abgedeckt. In das Dolacol bettet man außer zwei Metallelektroden auch den Mantel des Zuleitungskabels mit ein. Nach Aushärtung

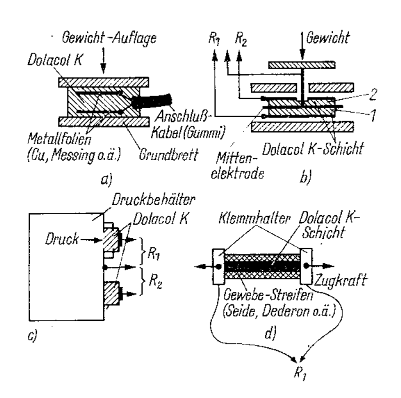


Bild 48 Verschiedene mögliche Wandlerausführungen
a – einfache Gewichtsmeßvorrichtung, b – temperaturkompensierte Differentialwaage, c – temperaturkompensierte Druckmeßvorrichtung, d – Anordnung für Dehnungsmessung (Prinzip)

ist diese sehr einfache und robuste Waage bereits einsatzbereit. Für R 2 wird ein gleichartiges, jedoch nicht belastetes Thioplaststück gefertigt. Die Waage nach Bild 48 a ist ohne jede zusätzliche Befestigung, ohne sonstige Armierung oder Umhüllung als weitgehend witterungsfest anzusehen, da alle Elektrodenteile im Innern eingebettet und einschließlich Zuleitung vom Plast selbst abgedichtet sind und dessen Oberflächenleitung ohne Einfluß bleibt. Diese Prinzipdarstellung läßt bereits die weitgehende Vereinfachung gegenüber herkömmlichen Wandlern erkennen.
Temperaturkompensation und Waagefunktion können vereinigt werden mit einem Aufbau nach Bild 48 b. In diesem Fall sind zwei Dolacol-Schichten vorhanden, deren obere R 2 (in Bild 47 b) und deren untere R 1 darstellt. Die Kraft wirkt auf die Mittelelektrode, wobei (wenn beide Schichten von vornherein unter einem gewissen Druck stehen, was sich z. B. durch Verspannen von Boden- und Deckplatte erreichen läßt) die obere entlastet, die untere belastet wird. Neben praktisch vollständiger Temperaturkompensation erreicht man damit nahezu die doppelte Wandlerempfindlichkeit der Schaltung nach Bild 47 b, da sich jetzt R 1 und R 2 gegenläufig ändern.
Eine Druckmessung wird nach Bild 48c durchgeführt. Die obere Dolacol-Schicht – durch eingebettete Laschen am Gehäuse gehalten – dichtet die Gehäuseöffnung ab und wird vom Innendruck mehr oder weniger komprimiert (Wasser, Öl und Treibstoff sowie fast alle Gase können mit Dolacol in unmittelbare Berührung kommen; andernfalls wird eine Membran zwischengefügt). Die untere Schicht hat wiederum die Aufgabe der Temperaturkompensation. Schließlich zeigt Bild 48d eine Möglichkeit für eine Dehnungsmessung. Eine – beiderseits mit Klemmlaschen kontaktierte – dünne Dolacol-K-Schicht wird auf dehnfähiges Gewebe aufgetragen, das isolierend und wasserabweisend sein soll. Dehnung ändert den Widerstand des Dolacol-Streifens. Temperaturkompensation erfolgt wiederum durch Verwendung eines zweiten gleichartigen, nicht gedehnten Streifens. Übrigens kann man die zur Dehnungsmessung

erforderliche Schicht auch direkt auf das zu kontrollierende Objekt auftragen, falls dieses eine nichtleitende Oberfläche hat. Durch Einbetten geeigneter Wandler ist es möglich, Mauerwerk an zahlreichen Punkten hinsichtlich auftretender Verformung zu überwachen, da der einzelne Wandler sehr billig wird. Diese Beispiele mögen genügen.
Wie unter 4.5. gesagt, ist dieses Verfahren noch im ersten Erprobungsstadium, so daß sich zur Zeit nichts Endgültiges darüber sagen läßt. Bezüglich der Ausnutzung dieses Verfahrens sei auf Abschnitt 4.5. verwiesen.

7.10. Weitere Anwendungsmöglichkeiten der Gießharze

7.10.1. Schraubensicherung

Schrauben oder Bolzen mit Gegenmutter können an Stelle sonst üblicher Splinte, Kontermuttern usw. durch Vergießen des Gewindes mit EGK 19 gesichert werden. Mutter und Bolzen verkleben und können sich auch bei stärkster Beanspruchung nicht lockern. Lösung erfolgt durch kräftiges Erhitzen der Klebung oder durch einige Zeit einwirkendes Azeton.

7.10.2. Verdrahtungs-Dünnschichtausgüsse

Konventionelle Verdrahtungen in größeren funktechnischen oder elektronischen Geräten können mit Gießharz, zweckmäßiger mit Elastikmischung Dolacol G/EGK 19 1 : 1, dünn ausgegossen oder ausgepinselt werden. Der entstehende Überzug bewirkt beträchtliche Versteifung der Verdrahtung, Lagefixierung der Bauelemente, zusätzliche Isolierung und sehr guten Korrosionsschutz, insbesondere auch der Lötstellen. Im Reparaturfall läßt sich der Überzug leicht entfernen. Röhren, Steckverbindungen u. ä. können ähnlich gesichert werden, wobei jedoch darauf zu achten ist, daß die Masse nicht zu Kontaktstörungen in der Steckverbindung bzw. Röhrenfassung führt.

7.10.3. Korrosionsschutz bei Antennen

EGK 19 eignet sich als Laminier- und Anstrichharz vorzüglich zur Korrosionsschutzlackierung von Antennen. Wird mit merklichen Verwindungen der Antenne gerechnet, dann sollte das EGK 19 durch Zusatz von 10 bis 15 Prozent Dolacol G elastifiziert werden. Es empfiehlt sich ein zweiter Schutzanstrich nach Aushärtung des Erstanstrichs. Anschlußklemmen und Anschlußdosen füllt bzw. umgießt man zwecks späterer Lösbarkeit mit Elastikmischung EGK 19/Dolacol G 1 : 1. Alle Metallteile müssen vor Aufbringen der Harze sorgfältig gesäubert und entfettet sein.

7.10.4. Laminat und Füllung als Baustoff

EGK 19 mit Füllstoffen (Abschn. 4.4.1.) kann sich auch in der Amateurpraxis als Baustoff gut bewähren. Bisherige Erfahrungen erstrecken sich im wesentlichen auf Modellbau, Bootsbau u. ä.

Insbesondere das Epoxydharz-Glaswolle-Laminat wird den Amateur interessieren. Man verwendet meist fünf bis sechs dünne, mit Epoxydharz EGK 19 durchtränkte Glaswolleschichten. Das Material zeigt sehr geringe Schrumpfung, weist nach Aushärtung keine inneren Spannungen auf, hat gute mechanische und elektrische Eigenschaften (Anwendung u. a. für Bootskörperbau und als Isoliermaterial), ist korrosionsfest und witterungsbeständig. Es brennt kaum, besitzt geringe Wärmeleitfähigkeit, eignet sich daher auch für Wärmeisolierungen bis etwa 70 °C.

Ein aussichtsreicher, weil leicht bearbeitbarer und beliebig formbarer Werkstoff für den Amateur dürfte auch das holzmehlgefüllte EGK 19 sein, das sich u. a. sogar nageln läßt.

7.10.5. Splittersicheres Glas

Die Elastikmischung EGK 19/Dolacol G 1 : 1 eignet sich, wie der Verfasser feststellte, sehr gut zur Selbstanfertigung splittersicheren Glases. Zwei sorgfältig entfettete, übliche

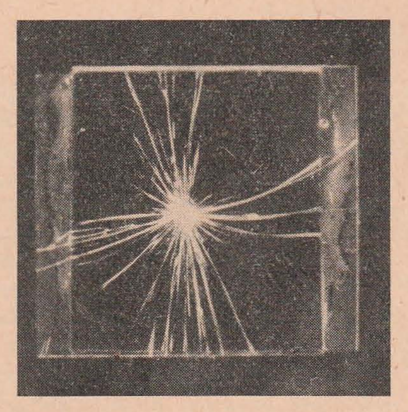


Bild 49 Splittersichere Doppelglasscheibe, durch Körnerschlag zerstört. Die Splitter lösen sich nicht ab, die Scheibe zerfällt nicht

Glasscheiben werden mit wenig Elastikmischung versehen und langsam so aufeinandergepreßt, daß sich die Masse gleichmäßig ohne Blasenbildung über die gesamte Fläche zwischen den Scheiben verteilt. Danach läßt man die auf diese Weise gewonnene Doppelscheibe ohne Druck oder Belastung aushärten. Die Scheibe erscheint in der Durchsicht glasklar, ohne Färbung. Bild 49 zeigt eine derart präparierte Doppelscheibe (zum besseren Erkennen absichtlich gegeneinander verschoben). Sie wurde nach Aushärtung durch einen kräftigen Körnerschlag zerstört. Das Foto läßt das Splitterbild erkennen; Ablösung von Glassplittern trat nicht auf. Anwendungsmöglichkeiten: Sicherung von Meßinstrumentenscheiben (durch nachträgliches Aufkleben einer gleich großen zweiten Scheibe mit Elastikmischung von außen), insbesondere bei Geräten für den Geländeeinsatz. Um Oszillografenröhren gegen etwaige Implosion splittersicher abzudecken, kann dem Bildschirm eine solche splittersichere Scheibe vorgesetzt werden (eventuell hinter die vorhandene Rasterscheibe eine zweite Glasscheibe kleben). Direkt auf den Bildröhrenboden aufkleben ist zwecklos!

7.10.6. Der Lichtleitschlauch

Die Elastikmischung EGK 19/Dolacol G weist einen relativ hohen optischen Brechungskoeffizienten auf. Dies ermöglicht zusammen mit den weiteren optischen Eigenschaften dieser Substanz eine Lichtfortleitung über Strecken bis 20 cm und mehr bei verhältnismäßig engen Krümmungsradien. Man gewinnt den Lichtleitschlauch durch Füllen eines PVC-Schlauchs (Isolierschlauch) von geeignetem Durchmesser (günstig um 6 mm Durchmesser) mit Elastikmischung Dolacol G/EGK 19 1 : 1. Nach Aushärtung wird der PVC-Schlauch entfernt (vorsichtig aufschneiden und abziehen). Bei Füllen des Schlauches ist auf peinlich blasenfreien Guß zu achten. Es empfiehlt sich, den senkrecht hängenden PVC-Schlauch mit dem unteren Ende im Harzansatz langsam mittels Ballon o. ä. (nicht mit dem Mund!) vollzusaugen und dann an den Enden durch Abknicken zu verschließen. Den ausgehärteten Lichtleitschlauch schneidet man an beiden Enden glatt und senkrecht ab, wobei auf saubere, blankglänzende Schnittflächen Wert zu legen ist. An einem Ende des Schlauches wird nun ein Kleinglühlämpchen direkt an die Schnittfläche angesetzt, indem man ein Stück PVC-Schlauch im Durchmesser des zum Gießen benutzten Schlauches darüberzieht (Bild 50). Der flexible Lichtleitschlauch kann nun nach Bedarf gebogen werden und ergibt am Ende noch einen kräftigen Lichtaustritt, der für Signalzwecke bei weitem ausreicht. Wegen der Eigenfärbung der Elastikmischung hat dieses Licht bei Verwendung weißen Lampenlichts eine kräftig orangegelbe Färbung.

Ein Beispiel für die Anwendung bei dichtgedrängter oder räumlich beengter Montage von Lichtsignalen u. ä. zeigt

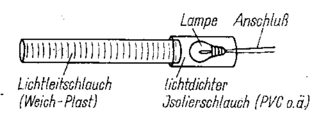


Bild 50
Lampenbefestigung am Lichtleitschlauch

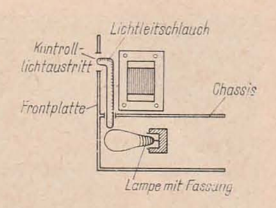


Bild 51
Anwendungsbeispiel für den Lichtleitschlauch

Bild 51. Die Stellung der Kontrollichtanzeige an der Frontplatte ist vorgegeben; wegen des dichtbenachbarten Trafos bleibt jedoch kein Montageraum für die Lampe. Diese wird nun unter dem Chassis angeordnet und ihr Licht mittels Lichtleitschlauch an die gewünschte Stelle gebracht. Maximal mögliche Schlauchlängen richten sich nach Lampenstärke sowie Anzahl der Krümmungen und ihrem Radius (engere Krümmung steigert Lichtverlust). Bild 12 links zeigt ein nach Bild 50 aufgebautes Muster. Die Bilder 52 und 53 lassen die Wirkung erkennen. Mittels mehrerer Lichtleitschläuche können Lichtsignale in einem dem Schlauchdurchmesser entsprechenden Abstand nebeneinandergesetzt werden, was bei direkter Lampenmontage wegen der größeren Fassungsdurchmesser nicht gelingt.

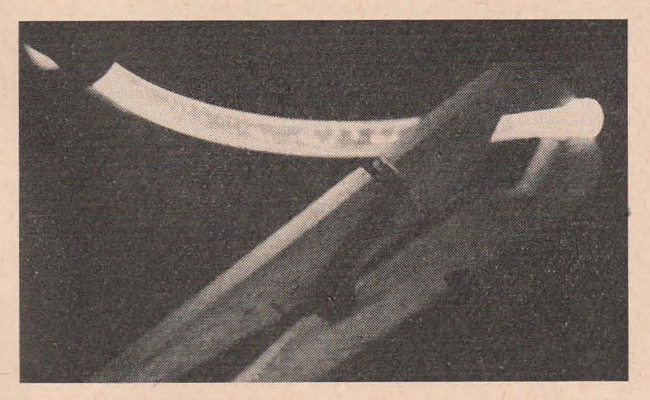


Bild 52 Lichtleitschlauch nach Bild 50, in Betrieb

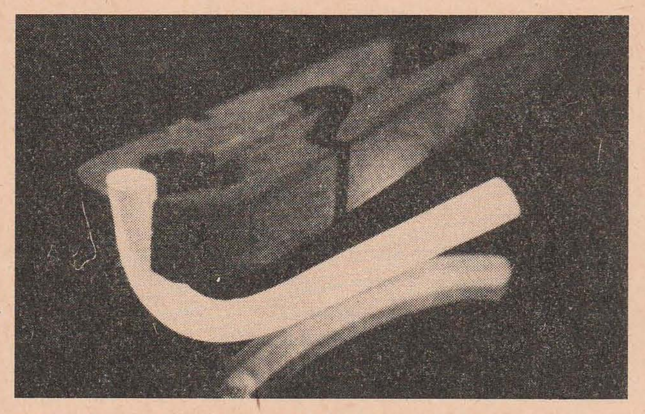


Bild 53 Der Lichtleitschlauch ermöglicht relativ enge Krümmungen

Weitere Anwendungsmöglichkeiten seien dem Ideenreichtum des Amateurs anheimgestellt. Ein aussichtsreiches Anwendungsgebiet wäre z. B. die Lochkartenabtastung.

7.10.7. Ansichtspräparate

Gießharzeingüsse, insbesondere in dem nahezu farblosen Polyesterharz, eignen sich sehr gut für Präparate als Lehr- und Demonstrationsmittel in Schule, Ausbildung usw. Für die Amateurfunk- und Elektronikausbildung kann z. B. an Eingüsse verschiedener Transistoren ohne Gehäusekappen (eventuell Vertreter verschiedener Typen oder Technologien zusammen mit Beschriftungsschildern in einem einzigen Polyester-Block) und ähnliche Anwendungen gedacht werden. Derartige Demonstrationsmodelle müssen sorgfältig blasenfrei gegossen, langsam und mit sehr geringer Beschleunigerdosierung gehärtet und nach Aushärtung oberflächenpoliert werden. Eine Anwendung für Schmuckzwecke wurde bei Bild 18 bereits vorgestellt.

7.10.8. Abstützen von Kabellötanschlüssen

Bei gelöteten Kabelanschlüssen – z. B. Kabelbäumen – bricht der Drahtleiter meist an der Stelle, wo die Kunststoffisolation unmittelbar vor der Lötstelle endet, da hier die stärkste Knick- oder Biegebeanspruchung auftritt. Solche Stellen können mit EGK 19 (falls besondere Elastizität für flexible Anschlüsse erforderlich ist, auch mit Elastikkombination EGK 19/Dolacol G 1 : 1) abgestützt werden. Man überzieht dazu die Lötöse und den Kabelanschluß bis einige Millimeter über den Isoliermantel mit einer etwa 1 mm starken Harzschicht, die nach Aushärtung eine zuverlässige Muffe ergibt. Anwendungsbeispiele: Steckerlötanschlüsse, Fernsteueranlagen, Kabelbäume in Verstärkergestellen. Die Gefahr von Kabelbrüchen und Kurzschlüssen wird damit weitgehend eingeschränkt.

7.10.9. Freitragende Luftspulen für den Amateursender

In vielen Fällen der HF- und Sendertechnik sind verlustarme und spannungsfeste Spulen erforderlich. Um die Verwendung von Keramikspulenkörpern zu umgehen, kann man freitragende Luftspulen nach folgendem Verfahren herstellen:

Ein dem Wickeldurchmesser entsprechendes Stück PVC-Schlauch wird auf einen geeigneten Holzdorn stramm aufgezogen; darauf wickelt man die vorgesehene Spule. Ihre Enden werden mit einer Klammer o. ä. in geeigneter Weise festgelegt, nachdem die Spule auf den gewünschten Windungsabstand auseinandergezogen worden ist. Längs der Spulenachse werden jetzt drei oder vier um 120° bzw. 90° versetzte „Raupen" aus EGK 19 aufgetragen, wozu man den Ansatz zuvor bis zum zähklebrigen Zustand aushärten läßt. Nach völliger Aushärtung wird die Spule vom PVC-Schlauch abgezogen. Die erstarrten „Raupen" bilden elektrisch hochwertige Stege, die die Spulenwindungen zuverlässig fixieren.

8. Herstellerangaben und Bezugshinweise

Zum Thema Materialbeschaffung sei nochmals auf das im Vorwort Gesagte verwiesen. Aus den dort genannten Gründen kann folgende Aufstellung nicht vollständig sein. Bezugshinweise werden unverbindlich und nach dem Stand bei Abschluß des Manuskripts dieser Broschüre gegeben. Im Zweifelsfall wendet man sich schriftlich an eine der genannten Stellen oder direkt an den jeweiligen Hersteller und läßt sich die günstigste Bezugsmöglichkeit nachweisen.

8.1. Hersteller

Polyester G Schkopau:
VEB Chemische Werke Buna, 4212 Schkopau über Merseburg
Härter (Cyclohexanonperoxid-Paste 50 Prozent in Styrol) und *Kobalt-Beschleuniger für Polyester G:*
VEB Eilenburger Celluloidwerk, 728 Eilenburg
Epoxydharz Epilox EGK 19 und
Epilox-Härter Nr. 3:
VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht", 422 Leuna/Merseburg
Dolacol G, Dolacol K und
Dolacol-K-Härter und *-Beschleuniger:*
VEB Chemiewerk Greiz-Dölau, 66 Greiz-Dölau (Thür.)

8.2. Handelsorgane

DHZ Gummi, Asbest und Kunststoffe, 50 Erfurt, Löberstraße 39
DHZ Gummi, Asbest und Kunststoffe, 40 Halle (Saale), Niemeyerstraße 7

Versorgungskontor Labor- und Feinchemikalien, 7033 Leipzig, Lützner Straße 211

Fa. Franz Apitzsch jun., 7145 Wiederitzsch Bezirk Leipzig, Buchenwaldstraße 22 (Polyester G Schkopau, Härter Cyclohexanonperoxid-Paste 50 Prozent in Styrol, Kobalt-Beschleuniger)

Fa. Asol-Chemie KG, Abt. Gieß- und Klebharze, 113 Berlin, Herzbergstraße 28 (u. a. zentraler Informationsdienst für Gießharztechnik)

Labor- und Industriebedarf, 92 Freiberg (Sachsen), Postfach 29, Tel.: 21 61

Zentrales Amateurversandhaus „funkamateur", 8023 Dresden, Bürgerstraße 47, Tel.: 5 47 81

Die zuletzt genannten beiden Betriebe haben vorgesehen, Gießharze in ihr Sortiment aufzunehmen.

1.–10. Tausend
Deutscher Militärverlag · Berlin 1966 · Lizenz-Nr. 5
Lektor: Sonja Topolov
Typografie: Günter Hennersdorf
Zeichnungen: Heinz Grothmann, Fotos: Verfasser
Vorauskorrektur: Ilse Fähndrich · Korrektor: Rita Abraham
Hersteller: Werner Briege
Gesamtherstellung: Druckerei Märkische Volksstimme, Potsdam, A 1083
1,90

Berichtigung

Wir bitten unsere Leser, folgende Berichtigung in der Broschüre „Gießharztechnik in der Amateurpraxis“ vorzunehmen:

Seite 23, 12. Zeile von unten
„Durch**schlagfestigkeit** für 2 mm . . .“

Seite 33, 10. Zeile von unten
„. . . Waschen **mit** reichlich Seifenschaum . . .“

Seite 89, 4. Zeile von oben
„$C = 5$ nF: $f =$ **5 kHz** (jeweils . . .“



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG